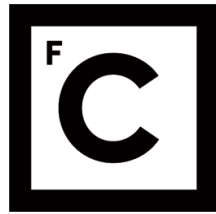


UNIVERSIDADE DE LISBOA
FACULDADE DE CIÊNCIAS



Ciências
ULisboa

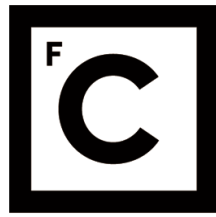
**Métodos Eficientes de Simulação e Otimização
em Problemas de Segurança Portuária**

Doutoramento em Estatística e Investigação Operacional
Especialidade de Análise de Sistemas

João José Maia Martins

Tese orientada por:
António José Lopes Rodrigues

Documento especialmente elaborado para a obtenção do grau de doutor



**Ciências
ULisboa**

Métodos Eficientes de Simulação e Otimização em Problemas de Segurança Portuária

Doutoramento em Estatística e Investigação Operacional
Especialidade de Análise de Sistemas

João José Maia Martins

Tese orientada por:
António José Lopes Rodrigues

Júri:

Presidente:

- Luís Eduardo Neves Gouveia, Professor Catedrático da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa

Vogais:

- Ana Isabel Martins Botto de Barros, *Principal Scientist, TNO-The Netherlands Organization for Applied Scientific Research* (Holanda)
- Victor José de Almeida e Sousa Lobo, Professor Catedrático do Departamento de Ciências e Tecnologia da Escola Naval
- Paulo Sérgio Abreu Freitas, Professor Auxiliar da Faculdade de Ciências Exatas e da Engenharia da Universidade da Madeira
- Maria Eugénia Vasconcelos Captivo, Professora Catedrática da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa
- António José Lopes Rodrigues, Professor Associado da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa

Documento especialmente elaborado para a obtenção do grau de doutor

À minha esposa Vilma, pelo constante incentivo mesmo nos momentos mais difíceis.

Amo-te!

Às minhas filhas, Carolina, Beatriz e Maria, por partilharem comigo a sua alegria de viver.

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador, António Rodrigues, por me ter lançado este desafio e acompanhado durante a travessia, depois de já o ter feito na tese de mestrado. Foram mais de cinco anos de trabalho conjunto, limando arestas e apontando caminhos, superando expectativas e quebrando barreiras.

À equipa da Marinha do Grupo de Trabalho de Proteção Portuária, sem a qual não teria sido possível obter o conhecimento necessário para a modelação de atividades portuárias.

Aos meus pais, Jaime Cristóvão e Maria Helena, pelo incentivo e felicidade sempre presentes ao longo da nossa existência conjunta.

Aos meus irmãos, cunhadas e sobrinhos pelo apoio contínuo sempre que necessário.

RESUMO

O presente trabalho apresenta o **SecurePort**, uma ferramenta de apoio à decisão militar de níveis estratégico, operacional e tático, para efeitos de planeamento de missões de proteção portuária contra possíveis ameaças terroristas. A ferramenta possibilita que o nível político conheça o balanço entre despesa e risco de segurança assumido; o comando operacional conheça as necessidades otimizadas de recursos (humanos e materiais) para um dado risco assumido; e o comando tático conheça o melhor uso a dar aos recursos que entretanto sejam atribuídos.

Foram analisadas diversas facetas dos problemas de segurança portuária e, com o objetivo de controlar e reduzir, até certo ponto, a enorme complexidade potencial desses problemas, recorreu-se a uma metodologia de estruturação de problemas, a *General Morphological Analysis*. Tal permitiu a identificação das variáveis mais relevantes para a elaboração de cenários operacionais, que foram objeto de estudo posterior.

São propostos alguns métodos heurísticos para o dimensionamento e afetação de recursos. Em particular, estudou-se quer o problema da cobertura da área a proteger por sensores fixos, quer o problema de *dispatching* de unidades móveis, tripuladas ou não, para deteção ou interceção de potenciais ameaças.

Um levantamento exaustivo e atomizado de custos e a experimentação com diversas regras heurísticas permitiram a estimação de uma relação funcional entre, por um lado, a quantidade e tipologia de recursos e os seus modos de operação e, por outro, os indicadores de desempenho considerados mais relevantes: o risco de segurança e o custo financeiro.

O **SecurePort** assenta fundamentalmente num complexo simulador baseado em agentes, desenvolvido de raiz em MATLAB. Este simulador é alimentado por informação geográfica e por informação realista sobre as atividades de uma zona portuária objeto de análise. O simulador foi testado, em particular, com informação relativa ao porto de Lisboa, antevendo a possibilidade de ataques terroristas realizados à superfície (embarcações) ou subsuperfície (mergulhadores).

Palavras chave: Sistemas de apoio à decisão; análise morfológica de cenários; localização de sensores; regras de *dispatching*; simulação baseada em agentes.

ABSTRACT

The present work presents **SecurePort**, a military decision support tool aimed to support mission planning for the protection of ports against possible terrorist threats. The tool provides instrumental knowledge at different levels: at the strategic level, an estimate of the trade-off relation between budget and assumed security risk; at the operational level, the identification of the optimized number and type of resources (personnel and equipment) for a given assumed risk; and, at the tactical level, how to make the best use of those resources.

We have explored different aspects of the problem of increasing security on the waterside of a port and, with the aim to control and, to some extent, reduce the enormous potential complexity of the problem, we used a well-known problem structuring methodology, *General Morphological Analysis*. This enabled the identification of the most relevant variables for the design of operational scenarios, that were studied afterwards.

We propose several heuristic methods for deciding upon the number, type and location of sensors and effectors. In particular, we have studied both the problem of covering the area of interest by fixed sensors, and the problem of dispatching mobile units, manned or autonomous, for the detection or the interception of potential threats.

A thorough, atomized evaluation of costs, and the experimentation with several heuristic tactical rules, together allowed the estimation of a functional relationship between, on the one hand, the number and type of resources and their operation modes, and, on the other hand, the measures of merit considered to be most relevant: security risk and financial costs.

SecurePort mainly consists of a complex agent-based simulator, developed from scratch in MATLAB. This simulator is fed by geographical information as well as by realistic information about the activities in the port area under analysis. It was tested, in particular, with the port of Lisbon, foreseeing the possibility of terrorist attacks at the sea surface (by vessels) or underwater (by divers).

Keywords: decision support systems; scenario morphological analysis; sensor location; dispatching rules; agent-based simulation.

ÍNDICE

LISTA DE FIGURAS	xvii
LISTA DE QUADROS	xx
LISTA DE ABREVIATURAS	xxiii
GLOSSÁRIO	xxiv
CAPÍTULO 1. INTRODUÇÃO	1
1.1 O PROBLEMA DA PROTEÇÃO PORTUÁRIA	1
1.1.1 Pertinência	1
1.1.2 Enquadramento Militar.....	1
1.1.3 Enquadramento Civil.....	2
1.1.4 Particularidade da proteção portuária.....	2
1.2 PROPOSTA DE TESE	3
1.2.1 Objetivo	3
1.2.2 Estrutura da investigação.....	4
1.2.3 Simulação	4
1.2.4 Estrutura da tese	6
1.3 ANÁLISE DE TRABALHOS ANTERIORES	6
1.3.1 Comparação com outros cenários antiterrorismo	6
1.3.2 Sensores	7
1.3.3 <i>Automated Red teaming</i>	8
1.3.4 Simulação social	8
1.3.5 Métodos para tratamento estatístico de resultados	9
1.3.6 Interceção de alvos móveis em ambiente marítimo	9
CAPÍTULO 2. CENÁRIOS DE PROTEÇÃO PORTUÁRIA	11
2.1 AMBIENTE PORTUÁRIO	11
2.2 REVISÃO DE METODOLOGIAS PARA CONSTRUÇÃO DE CENÁRIOS	12
2.2.1 Introdução	12
2.2.2 <i>General Morphological Analysis</i>	13
2.2.3 Desenvolvimentos da GMA	14
2.2.4 Sociedade Sueca de Morfologia	15
2.2.5 Resumo.....	16
2.2.6 Crítica	17
2.3 CENÁRIOS RELEVANTES PARA EFEITOS DE PROTEÇÃO PORTUÁRIA	17
2.3.1 Revisão de trabalhos	17
2.3.2 Aplicação da GMA na construção de cenários	17
2.3.3 Seleção de cenários.....	25

2.3.4	<i>Design Structure Matrix (DSM)</i>	26
2.3.5	Trabalhos futuros	27
2.4	CÓDIGO DE BOAS PRÁTICAS	28
2.4.1	Formulação	28
2.4.2	Soluções estratégicas	29
2.4.3	Medidas de mérito	29
2.4.4	Cenários	29
2.4.5	Métodos e ferramentas.....	30
2.4.6	Risco e incerteza	30
2.5	ESTUDOS EFETUADOS	30
2.5.1	Características da ameaça	30
2.5.2	Modelo matemático	31
2.6	DESENVOLVIMENTO DE CENÁRIO OPERACIONAL	32
2.6.1	Factores	32
2.6.2	Medidas de desempenho	33
2.6.3	Quadro resumo	33
2.7	CENÁRIOS OPERACIONAIS	33
2.7.1	Configuração geográfica e ambiental.....	34
2.7.2	Configuração dos factores	36
2.7.3	Configuração do dispositivo de segurança	37
2.7.4	Quadro resumo	38
2.8	MODELO DE COMANDO E CONTROLO USANDO GMA	39
2.8.1	Introdução	39
2.8.2	Dimensões e variáveis de classificação	41
2.8.3	Matriz morfológica de atividades	43
2.8.4	Utilização da matriz morfológica de atividades.....	45
2.8.5	Resposta operacional para a matriz de atividades	46
2.8.6	Exemplo de aplicação do modelo de comando e controlo	49
2.9	CONTRIBUTOS	54
CAPÍTULO 3. EXPERIMENTADOR DE TÁTICAS		55
3.1	ANÁLISE DE MODELOS	55
3.1.1	Problema de orientação	55
3.1.2	Problema de <i>job shop scheduling</i>	57
3.1.3	Gestão de frotas em tempo real.....	59
3.1.4	Abordagem System-of-Systems.....	60
3.2.	EXPERIMENTADOR DE PLATAFORMAS NÃO TRIPULADAS	62
3.2.1	Introdução	62

3.2.2	Estruturas de dados	63
3.2.3	Regras de empenhamento	65
3.2.4	Definição de cenários	66
3.2.5	Experiência 1	68
3.2.6	Resultados	68
3.2.7	Sensibilidade das regras face ao polígono	71
3.2.8	Conclusão	73
3.3	EXPERIMENTADOR DE PLATAFORMAS TRIPULADAS	75
3.3.1	Tarefa e matriz de decisão	75
3.3.2	Estados	75
3.3.3	Sucessão de estados.....	76
3.3.4	Matriz de decisão	77
3.3.5	Formulação.....	78
3.3.6	Regras.....	80
3.3.7	Cálculo dos custos	81
3.3.8	Experiência 2	82
3.3.9	Resultados	83
3.4	CONCLUSÕES.....	86
3.5	CONTRIBUTOS.....	86
CAPÍTULO 4. COBERTURA POR SENSORES FIXOS		87
4.1	FACTORES A CONSIDERAR NA OTIMIZAÇÃO DA COBERTURA	87
4.1.1	Visibilidade	87
4.1.2	Probabilidade de deteção por quadrícula	92
4.1.3	Risco da não deteção	92
4.1.4	Risco da instalação	93
4.1.5	Estruturas de dados	93
4.1.6	Problema de localização discreta	95
4.2.	HEURÍSTICAS	96
4.2.1	Heurística de arranque ou <i>Greedy</i>	96
4.2.2	Heurísticas de melhoramento.....	96
4.2.3	Exemplo de obtenção de solução pelo algoritmo <i>Greedy</i>	97
4.2.4	Heurísticas de melhoramento, solução e valor	102
4.2.5	Algoritmo genético (AG).....	103
4.2.6	<i>Simulated annealing</i> de busca em espiral (SA)	104
4.2.7	Análise da superfície de soluções.....	106
4.2.8	Espiral descontinuada (ED).....	109
4.2.9	Comparação de métodos	113
4.2.10	Aceitar solução	113

4.3	OTIMIZAÇÃO DA DETEÇÃO CONTEMPLANDO SENSORES FIXOS.....	115
4.3.1	Implantação manual de radares fixos	115
4.3.2	Integração do sensor fixo na metodologia de otimização.....	115
4.4	CONTRIBUTOS.....	117
CAPÍTULO 5. LOGÍSTICA E CUSTOS		118
5.1	DEFINIÇÃO.....	118
5.1.1	Principais problemas da logística operacional.....	119
5.1.2	Financiamento	119
5.1.3	Custos	120
5.2	CÁLCULO AUTOMATIZADO DE CUSTOS	120
5.2.1	Custos unitários	120
5.2.2	Variáveis independentes	121
5.2.3	Variáveis dependentes	121
5.2.4	Processo de atomização	122
5.2.5	Cômputo global	127
5.3	CONSIDERAÇÕES FINAIS	127
CAPÍTULO 6. SIMULADOR - MODELOS		128
6.1	MODELAÇÃO DO SIMULADOR.....	128
6.1.1	Parâmetros do simulador	128
6.1.2	Modelação de variáveis	129
6.1.3	Modelos computacionais para atividades da população local	132
6.1.4	Modelos computacionais para navegação	133
6.1.5	Métodos de intercepção	133
6.1.6	Modelação do dispositivo de segurança	136
6.1.7	Interação de agentes locais com o dispositivo de segurança.....	139
6.1.8	Interação com agentes terroristas de superfície	140
6.1.9	Modelação de mergulhadores terroristas.....	141
6.1.10	Comparação da problemática de terrorista embarcado versus mergulhador	146
6.2	CARREGAMENTO E EDIÇÃO	147
6.3	SIMULAÇÃO: GERADOR	147
6.3.1	Implementação do gerador de contactos de superfície.....	148
6.3.2	Implementação do gerador de contactos submarinos.....	152
6.3.3	Implementação do gerador de contactos falsos	153
6.4	SIMULAÇÃO: MOTOR.....	154
6.4.1	Opções do motor	154
6.4.2	Modelo do simulador (megaprocesso).....	156
6.4.3	Tratamento de agentes	157

6.4.4	Atribuição de alvo	165
6.4.5	Movimentação dos botes de segurança	166
6.4.6	Embarcações suspeitas de terrorismo, em fuga	168
6.4.7	Visualização, demora e registo.....	168
CAPÍTULO 7. SIMULADOR – EXPLORAÇÃO		170
7.1.	DESENHO DE ÁREAS PARA ATRIBUIÇÃO A EMBARCAÇÕES	170
7.2.	VISUALIZADOR DE RESULTADOS	174
7.2.1.	Preparação da simulação	174
7.2.2.	Comportamento dos agentes.....	174
7.2.3.	Densidade de navegação.....	175
7.2.4.	Derrotas dos terroristas	175
7.2.5.	Ocupação das embarcações em patrulha	177
7.2.6.	Gastos computacionais	178
7.3.	OTIMIZAÇÃO INTEGRADA	179
7.3.1.	Otimização	179
7.3.2.	Resultados	180
7.4.	CONTRIBUTOS	182
CAPÍTULO 8. CONCLUSÕES		183
8.1.	RETROSPETIVA	183
8.2.	PERSPETIVA	185
8.2.1.	Desenvolvimentos	185
8.2.2.	Campo de aplicação	185
8.2.3.	Ensino	186
REFERÊNCIAS		187
APÊNDICE A – MODELOS E INTERFACES		193
A1	MODELAÇÃO DA ATIVIDADE DO PORTO DE LISBOA.....	193
A2	CARREGAMENTO E EDIÇÃO DE MAPAS	193
A3	INTERFACE DO SIMULADOR COMPLETO	195
A4	EDIÇÃO MANUAL DE POLÍGONOS E SENSORES	196
A5	ATIVIDADES HUMANAS LOCAIS	198
A6	CARREGAMENTO DE COMPORTAMENTOS.....	200
A7	CONSUMO DE COMBUSTÍVEL DAS EMBARCAÇÕES DE SEGURANÇA	200
A8	CARACTERIZAÇÃO DO PANORAMA SUBMARINO	200
A9	MODELOS DE DADOS	201

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Áreas, eixos e polígono.....	xxiv
Figura 2 <i>SecurePort</i> como <i>black box</i>	3
Figura 3 Estrutura da investigação.....	4
Figura 4 Minimização de vértices de um obstáculo.....	10
Figura 5. Representação de uma solução com 3 parâmetros.....	14
Figura 6 Ferramenta para GMA.....	18
Figura 7 Matriz morfológica.....	24
Figura 8. Painel de consistência interna.....	25
Figura 9. Verificação de consistência interna.....	25
Figura 10. Representação da consistência interna usando o DSM.....	27
Figura 11. Formulação do problema.....	29
Figura 12. Modelo de apoio à decisão.....	34
Figura 13. Formatos do cenário.....	35
Figura 14. Detalhe da ferramenta de apoio à decisão.....	40
Figura 15. Curva de utilidade por plataforma.....	48
Figura 16. Cenário e posicionamento inicial de sensores.....	49
Figura 17. Evento 001, curva de utilidade das plataformas disponíveis.....	52
Figura 18. Evento 002, curva de utilidade das plataformas disponíveis.....	53
Figura 19. Fases da proteção antiterrorismo.....	54
Figura 20 Sistema de apoio à decisão otimizado.....	60
Figura 21 Sistema de apoio à decisão típico.....	61
Figura 22. Atividade portuária e plataformas aéreas em classificação.....	69
Figura 23. Resultados para 3 plataformas de superfície.....	69
Figura 24. Resultados para 2 plataformas aéreas.....	69
Figura 25. Resultados para uma plataforma aérea com velocidade de 30nó.....	70
Figura 26 Cenários apresentados no capítulo 2.....	72
Figura 27. Utilização do simulador.....	72
Figura 28. Visualização de resultados para 2 UAV, 30nó.....	73
Figura 29. Necessidade de UAV ao longo do dia.....	74
Figura 30. Estado da tarefa.....	76
Figura 31. Sucesso na classificação fixando quatro variáveis.....	83
Figura 32. Análise da capacidade explicativa do eixo variando a regra de decisão.....	84
Figura 33. Sucesso em função de $n \lambda \mu$, (código de cores).....	84
Figura 34. Apresentação do insucesso obtido pelas regras, em função de n , λ e μ	85
Figura 35. Ferramenta de exploração de dados.....	85
Figura 36 Representação da visibilidade, corte vertical.....	87
Figura 37 Visibilidade e quadrículas.....	88
Figura 38. Alcance máximo de deteção devido à curvatura da Terra.....	89
Figura 39 Representação do triângulo unindo o radar e o alvo num foco horizontal.....	89
Figura 40 Representação do caminho do algoritmo de cálculo de visibilidade.....	90
Figura 41. Coberturas calculadas com grão 10jj (esquerda) e 30jj.....	98
Figura 42. Ganhos com sensores.....	100
Figura 43. Diagramas de coberturas radar.....	101

Figura 44. Diagrama de cobertura sonar	102
Figura 45. Caminho do algoritmo genético	103
Figura 46 Caminho do algoritmo genético com Greedy.....	104
Figura 47 Representação de uma solução.....	105
Figura 48. Caminho do Simulated Annealing	106
Figura 49. Representação da superfície de soluções.	107
Figura 50 Busca em espiral sobre superfície das soluções	108
Figura 51 Busca em espiral iniciada em boa solução	109
Figura 52. Esquema da busca em espiral descontinuada.....	109
Figura 53. Convergência da espiral, lançada com uma solução aleatória.....	112
Figura 54. Representação das diversas fases do algoritmo espiral descontinuada	112
Figura 55. Seleção de sensores.....	114
Figura 56. Camada com probabilidades de deteção	114
Figura 57. Instalação manual de sensor	115
Figura 58. Coberturas radar.....	116
Figura 59. Resultados da otimização	117
Figura 60. Logística Operacional Conjunta Combinada.....	118
Figura 61. Cálculo da quantidade e localização de postos de observação.....	121
Figura 62. Processo de atomização	123
Figura 63. Processos associados às atividades portuárias	132
Figura 64 Métodos de interceção de alvo em movimento	135
Figura 65. Processo associado às embarcações de defesa e atribuição de alvos	139
Figura 66. Definição dos locais de partida de mergulhadores	142
Figura 67. Esquema de movimentação de mergulhador	143
Figura 68. Esquema de bote com cobertura sonar e visual	145
Figura 69. Estados da embarcação de patrulha, função da situação atual e evento	146
Figura 70. Opções associadas ao gerador de contactos.....	148
Figura 71. Algoritmo para contorno de obstáculos.....	150
Figura 72. Fluxograma da busca pelo vértice que possibilita caminho livre.	151
Figura 73. Pontos de partida de mergulhadores.....	153
Figura 74. Opções do motor de simulação e simbologia empregue na visualização dos eventos	154
Figura 75. Fluxograma do motor de simulação	156
Figura 76. Legenda dos símbolos presentes na janela de visualização.....	157
Figura 77. Processo de superfície 1, contactos em trânsito para trabalho ou morte	157
Figura 78. Processo de superfície 2, contactos em área de trabalho.....	158
Figura 79. Caminho percorrido por uma embarcação sem ser detetada	160
Figura 80. Coberturas de sensores móveis aumentadas artificialmente	161
Figura 81. Caminho relativo bote-mergulhador.....	161
Figura 82. Processo de mergulho terrorista	162
Figura 83. Processo de terroristas de superfície, alteração de comportamento e seleção de área ...	163
Figura 84. Processo de classificação de superfície	164
Figura 85. Processo de atribuição de alvos às embarcações de defesa	165
Figura 86. Processos associados aos botes, com variação de estado	167
Figura 87. Visualização da dinâmica portuária e do dispositivo de segurança.	169
Figura 88. Desenho das áreas de classificação e patrulha a partir de duas áreas críticas	171

Figura 89. Desenho de áreas individuais de patrulha, 2ª camada com 3 botes	172
Figura 90. Comparação de resultados obtidos com os métodos de partição de área.	173
Figura 91. Visualização de 12 camadas de informação.....	174
Figura 92. Visualização da cobertura de sensores embarcados.	174
Figura 93. Densidade de navegação após 48 horas de simulação, total de 980 contactos.....	175
Figura 94. Representação de rotas e tempos.	176
Figura 95. Trabalho das embarcações por área individual de patrulha.....	177
Figura 96. Densidade de navegação e gastos computacionais.	178
Figura 97. Otimização de variáveis usando um simulador completo.	179
Figura 98. Resultado da heurística de melhoramento.....	181
Figura 99. Resultado final de uma simulação.	182
Figura A1. Ferramenta para leitura e edição de mapas.....	194
Figura A2. Interface do simulador completo	195
Figura A3. Cobertura de radar localizado manualmente	197
Figura A4. Processo de vida e morte da navegação.....	199

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 Comparação entre métodos de modelação (adaptado de Ritchey [90,92])	13
Quadro 2 Morphological Box.....	14
Quadro 3. Cenários selecionados	26
Quadro 4. Comparação entre guerra convencional e OOTW	28
Quadro 5. Ferramentas por categoria (adaptado de NATO RTO [70]).....	30
Quadro 6. Cenário experimental e completo.....	38
Quadro 7. Resposta operacional experimental e conjunta	38
Quadro 8 Análise dos processos de decisão	39
Quadro 9. Matriz de atividades	44
Quadro 10. Matriz morfológica de atividades.....	45
Quadro 11. Quadro de capacidade de sensores (valores exemplificativos)	47
Quadro12. Quadro de capacidade de plataformas (valores exemplificativos)	47
Quadro 13. Configuração de sensores em plataformas	47
Quadro 14. Atividades possíveis do evento 001JAN16	50
Quadro 15. Atividades possíveis do evento 002JAN16	52
Quadro 16. Alocação de sensores a eventos	53
Quadro 17. Exemplos de notações de problemas do tipo JSS	58
Quadro 18. Funções objetivo	65
Quadro 19. Resumo dos cenários	68
Quadro 20. Sucesso do UAV.	70
Quadro 21. Sucesso do USV.....	71
Quadro 22. Definição da melhor regra a usar para cada cenário	71
Quadro 23. Cenário de superfície com aproximação omnidirecional.....	72
Quadro 24. Resumo dos resultados.....	73
Quadro 25. Estados de uma tarefa.....	77
Quadro 26. Funções objetivo	78
Quadro 27. Características do experimentador de plataformas tripuladas.....	78
Quadro 28. Custos da operação em função do número de embarcações tripuladas	82
Quadro 29. Comparação de métodos para obtenção de visibilidades.....	91
Quadro 30. Dados do problema	94
Quadro 31. Exemplo com solução Greedy.....	97
Quadro 32 Definição da quadrícula.....	97
Quadro 33 Curva de distribuição de probabilidade acumulada de deteção	98
Quadro 34 Vector de soluções solheur e conversão para as variáveis de decisão Y_{kj}	102
Quadro 35 Exemplo do algoritmo de espiral continuada para 2 sensores.....	111
Quadro 36 Comparação de heurísticas de melhoramento.....	113
Quadro 37. Custos unitários	120
Quadro 38 Descrição de postos e funções do pessoal.....	122
Quadro 39 Descrição de equipamentos e consumíveis	122
Quadro 40. Descrição de 1º nível da variável nº de embarcações de patrulha (z_1)	124
Quadro 41. Descrição de 1º nível da variável nº de sensores em terra (z_2)	124
Quadro 42. Descrição de 1º nível da variável nº de postos em terra (z_3).....	125
Quadro 43. Resumo das opções para seleção dos locais de partida de mergulhadores.....	142

<i>Quadro 44. Estados da embarcação de patrulha.....</i>	<i>145</i>
<i>Quadro 45. Parâmetros e variáveis associadas a mergulhadores</i>	<i>146</i>
<i>Quadro 46. Quadro comparativo entre ameaças por meio de infiltração.....</i>	<i>147</i>
<i>Quadro 47. Análise de vértices dos obstáculos apresentados ao rumo direto</i>	<i>150</i>
<i>Quadro 48. Comparação entre métodos de traçado de áreas individuais.....</i>	<i>173</i>
<i>Quadro 49. Resultados gravados por iteração.....</i>	<i>180</i>
<i>Quadro A1 Atributos dos contactos de superfície, iniciais e atualizados por instante. Matriz ponto</i>	<i>201</i>
<i>Quadro A2 Atributos da situação atual, iniciais e atualizados por instante.</i>	<i>201</i>
<i>Quadro A3 Valores da tipologia de interesse, constante durante a simulação</i>	<i>202</i>
<i>Quadro A4 Valores do estado de detecção por sensores, atualizado por instante</i>	<i>202</i>
<i>Quadro A5. Valores do estado de classificação, atualizado por instante</i>	<i>202</i>
<i>Quadro A6 Valores da situação inicial como terrorista, constantes durante a simulação</i>	<i>202</i>
<i>Quadro A7 Valores do tipo de terrorista, constantes durante a simulação.....</i>	<i>202</i>
<i>Quadro A8 Valores do sucesso do terrorista, atualizados por instante</i>	<i>202</i>
<i>Quadro A9 Atributos dos falsos contactos, matriz false_contact.....</i>	<i>202</i>
<i>Quadro A10 Atributos dos mergulhadores, atualizados por instante. Matriz merg</i>	<i>203</i>
<i>Quadro A11. Atributos das embarcações de defesa, atualizados por instante. Matriz boat</i>	<i>204</i>

LISTA DE ABREVIATURAS

- **C2:** *Command and Control*;
- **CMRE:** *Center for Maritime Research & Experimentation*, La Spezia, Itália;
- **CPDA:** Curva de detecção de probabilidade acumulada;
- **DAT-PoW:** *Defense Against Terrorism, Program of Work*;
- **DESC:** Grau de classificação atribuído quando surge indicação sensorial da presença de algo estranho. Inicia um evento;
- **DSM:** *Design structure matrix*;
- **DNV:** *Det Norske Veritas* (sociedade de classificação da Noruega);
- **GMA:** *General Morphological Analysis*;
- **IED:** *Improvised Explosive Device*;
- **IMO:** *International Maritime organization*;
- **ISPS:** *International Ship and Port Facility Security Code* [50], é um conjunto de medidas destinadas a melhorar a segurança de navios e facilidades portuárias, desenvolvidas a partir dos ataques terroristas de 11 de setembro de 2001, aos EUA. Tendo iniciado a sua implementação em 2004, atribui responsabilidades a governos, agências de navegação, pessoal de bordo e pessoal das infraestruturas na detecção de ameaças à segurança e na tomada de medidas preventivas contra incidentes de segurança afetando navios ou facilidades portuárias usadas no comércio internacional;
- **jj:** símbolo de representação da jarda náutica, em que $2000jj=1nm$;
- **JSS:** *Job Shop Scheduling*;
- **MODJSSP:** *Multi-Objective Dynamic Job Shop Scheduling Problem*;
- **NATO:** *North Atlantic Treaty Organization*
- **NCON:** Grau de classificação atribuído quando se identifica o evento como sendo sem interesse;
- **nm:** símbolo usado para representar a milha náutica, em que $1852m=1nm$;
- **NPS:** *Naval Postgraduate School*, Monterey, EUA;
- **NTER:** Grau de classificação atribuído quando se classifica o contacto como embarcação ou mergulhador não associado a atividades críticas;
- **OOTW:** *Operations Other Than War*;
- **OP:** *Orienteering Problem*;
- **POSSTER:** Atribuído quando estamos presentes a uma embarcação ou mergulhador que pode ser usado em atividades críticas;
- **PROBTER:** Atribuído quando os comportamentos são suspeitos, a vistoria presencial indica fortes indícios de envolvimento com práticas críticas ou na posse de material não autorizado;
- **ts:** *time-step*, unidade de tempo usada no simulador;
- **UAV:** *Unmanned Aerial Vehicle*;
- **USV:** *Unmanned Surface Vehicle*;
- **UUV:** *Unmanned Underwater Vehicle*;
- **VRP:** *Vehicle Routing Problem*.

GLOSSÁRIO

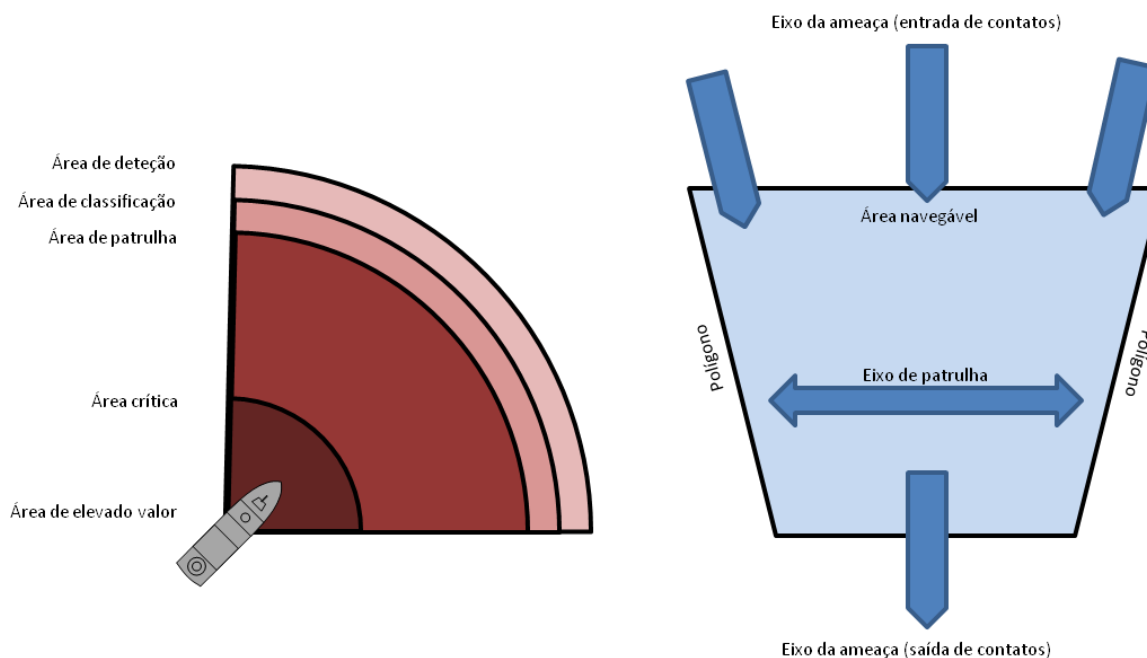


Figura 1. Áreas, eixos e polígono

- **Área de elevado valor:** área que se constitui como alvo dos ataques terroristas; pode ser um navio, um fundeadouro, ou uma infraestrutura portuária;
- **Área crítica:** área dentro da qual é interdita a presença de pessoas ou equipamentos não classificados como neutro ou amigo e na qual se insere a área de elevado valor. É função do alcance das armas passíveis de serem usadas pelos agentes terroristas; ao ser traçada, deve ainda contemplar possíveis pontos de desembarque que permitam alcançar infraestruturas de elevado valor em terra; inclui a área de elevado valor;
- **Área de patrulha:** área no interior da qual as embarcações de patrulha evoluem para efeitos de intercepção, classificação e detenção de embarcações e mergulhadores; inclui a área crítica;
- **Área de classificação:** área dentro da qual se efetua a classificação de todos os contactos; inclui e pode ser coincidente com a área de patrulha;
- **Área de deteção:** área dentro da qual é necessário conseguir a deteção dos contactos, através dos sensores móveis e fixos ao dispor da força de segurança. Inclui e pode ser coincidente com a área de classificação;
- **Área do espelho de água controlado:** área na qual é simulada a atividade portuária, com janelas para o exterior; também designada por espaço controlado; inclui todas as áreas de deteção;
- **Área de interesse:** área georreferenciada dentro da qual ocorre a operação; inclui todos os espaços controlados;
- **Comando e Controlo:** o exercício da direção e autoridade por um comandante sobre forças atribuídas para o efeito específico de uma missão;

- **Contacto:** todos os agentes intervenientes, exceto os de segurança, incluindo falsos contactos. Passam a eventos enquanto detetados pelos sensores do dispositivo de segurança. Caso seja interrompida a deteção, regressam ao estado de contacto;
- **Efecto:** recursos, equipamentos ou tecnologias que efetuam uma tarefa física contra um objeto. Quando o objeto é um ser humano, a tarefa pode ser a comunicação de uma mensagem de aviso, evitando uma ação e revelando a intenção do indivíduo;
- **Eixo da ameaça:** estimativa da direção de onde se espera um ataque;
- **Eixo de patrulha:** área sobre a qual evoluem as plataformas de vigilância;
- **Estofo:** instante temporal que coincide com a maré cheia ou vazia, particularizando-se por não existir corrente de maré;
- **Evento:** a deteção de um contacto pelos sensores do dispositivo de segurança, nos quais se incluem os vigias humanos. A partir do momento em que um contacto passa a evento é-lhe atribuída uma classificação. Caso seja interrompida a deteção é finalizado o evento;
- **Força combinada:** termo usado para identificar duas ou mais forças ou agências de dois ou mais países aliados operando em conjunto;
- **Força conjunta:** termo usado para identificar duas ou mais forças ou agências do mesmo país operando em conjunto;
- **Força de segurança:** conjunto de homens treinados, equipamentos e doutrina que têm como missão evitar que suspeitos de terrorismo entrem na área crítica;
- **Jarda náutica:** unidade de medida de comprimento ou distância, usada em navegação marítima e aérea, correspondente a 1/2000 da milha náutica;
- **Logística:** em sentido lato, a definição pode ser encontrada no glossário de termos navais como “O ramo da Arte da Guerra que tem por objeto proporcionar às forças os meios necessários à condução da guerra”.;
- **Milha náutica ou milha marítima:** unidade de medida de comprimento ou distância, correspondente a 1 minuto do perímetro de um meridiano terrestre. Cada milha náutica corresponde a 2000j ou 1852 metros;
- **Nó:** unidade de velocidade correspondente a uma milha náutica por hora;
- **Polígono:** forma da área navegável com interesse para a operação de proteção portuária;
- **Quadrícula:** *pixel* (quadrado) usado nos mapas *raster*, tendo de lado 1 grão;
- **Raster:** dados *raster* (ou *bitmap*) contêm a descrição de cada *pixel*, em oposição aos gráficos vectoriais. Usando este tipo de dados, o terreno é representado por uma matriz que define células denominadas por *pixels* (*picture element*). Cada *pixel* apresenta um valor referente ao atributo, que se aplica a toda a área representada pelo *pixel*, para além da georreferenciação do centro da área.
- **Sistema de comando e controlo:** facilidades, equipamentos, comunicações, procedimentos e pessoal essencial para um comandante planear, dirigir e controlar as operações das forças atribuídas para o cumprimento de uma missão;
- **Time step:** unidade de tempo do simulador, representada por *ts*.
- **Vectorial:** usando a representação vectorial, por oposição à representação *raster*, os domínios espaciais são representados por pontos, linhas ou polígonos, os quais são georreferenciados e dotados de atributos.

CAPÍTULO 1. INTRODUÇÃO

1.1 O PROBLEMA DA PROTEÇÃO PORTUÁRIA

1.1.1 Pertinência

Através da IMO (*International Maritime Organization*) foram estabelecidas regras e procedimentos para proteção de infraestruturas e comércio portuário contra ataques terroristas, originados quer em terra quer a bordo de navios em viagens internacionais. Essas regras deram origem em 2002 a uma alteração da *International Convention for the Safety of Life at Sea* (SOLAS) e em 2003 à publicação do *International Ship and Port Facility Security Code* (ISPS) [50]. Por outro lado, a proteção portuária contra ataques terroristas originados no espelho de água não foi ainda alvo de qualquer estudo por parte daquele organismo da ONU, sendo responsabilidade interna dos países. Para esse efeito, Parformak *et al.* [79] efetuaram para o Congresso dos Estados Unidos um levantamento exaustivo dos possíveis cenários de ataques terroristas contra portos norte-americanos, enquanto na União Europeia tal trabalho foi entregue à empresa DNV (Det Norske Veritas), a qual produziu em 2005 um estudo sobre as vulnerabilidades portuárias europeias (DNV [26]). Na sequência dos ataques terroristas em Madrid, a NATO estabeleceu diversas iniciativas relativas à proteção contra ataques terroristas, sendo aí contemplada a proteção portuária contra ataques originados no espelho de água. Estas iniciativas foram estabelecidas durante a cimeira da NATO em Istambul [69], sendo entregues à Conferência de Diretores Nacionais de Armamento (CNAD). A liderança da iniciativa relativa à proteção portuária, designada por DAT-PoW item 2 foi entregue à Itália, a qual promoveu diversos exercícios de proteção portuária para aferir a capacidade tecnológica existente na área.

Em 2010, a liderança da iniciativa transitou para Portugal. O representante nacional no CNAD, Diretor Geral de Armamento e Infraestruturas de Defesa (DGAIED), delegou a liderança à Marinha de Guerra Portuguesa, a qual estabeleceu um Grupo de Trabalho multidisciplinar para o efeito (GT DAT POW). Como resultado da liderança italiana, foi assumido que a componente tecnológica se encontrava plenamente desenvolvida, sendo então necessário trabalhar nas áreas de doutrina e planeamento. O grupo de trabalho nacional assumiu como *Mission Statement*:

“Preparar doutrina e material de apoio ao planeamento de uma operação que, baseada numa força aliada projetada, estabeleça um dispositivo de segurança contra ataques terroristas utilizando pequenas embarcações e mergulhadores, num porto pertencente a uma nação não aliada, num período até seis meses. Como pressuposto, a força deverá estar preparada para exercer a sua missão com o mínimo de interferência na atividade portuária local.”

1.1.2 Enquadramento Militar

Dentro da NATO, o planeamento de uma operação militar, com recursos fornecidos pelas nações, incluindo o financeiro, carece de negociação política. De acordo com a doutrina de planeamento estratégico, o planeador recorre a ensinamentos anteriores relativamente a operações semelhantes, recolhendo por um lado os custos envolvidos e por outro o sucesso obtido. De seguida, fornece ao poder político, para decisão, diversas opções custo-benefício. Após decisão do poder político, a operação é entregue a um Comando Operacional, o qual, obedecendo à doutrina, define as necessidades em termos de pessoal e equipamento e elabora as devidas ordens para o Comandante Tático. Este último nível de comando, define o dispositivo a empregar e é o responsável pelo emprego da doutrina nas tarefas a executar pela força. Este processo resume a maior parte das operações desenvolvidas pela Aliança, embora surjam por vezes diferentes alternativas, dependendo da importância e urgência da missão. É no entanto um processo muito moroso, envolvendo consulta

às nações, que pode levar meses a preparar apenas para a decisão de nível estratégico. A NATO dispõe atualmente de um largo conjunto de ferramentas de apoio à decisão, bem como de padrões para o seu desenvolvimento e implementação, apresentadas com detalhe no capítulo 2. No entanto, nenhuma permite atualmente a ligação direta entre o poder político e as decisões táticas.

1.1.3 Enquadramento Civil

A segurança portuária tem o seu foco na proteção de pessoas e bens contra ameaças originadas em terra ou transportadas por navios em viagens internacionais. A nível internacional, encontra-se implementado o *International Ship and Port Facility Security (ISPS) code* [50], o qual prevê quatro níveis de alerta. Cada país tem a sua cadeia de comando, envolvendo autoridades nacionais, regionais e locais, sendo a situação portuguesa detalhada no capítulo 2. Não existe qualquer norma, nacional ou internacional, que preveja a ameaça originada a partir do mar. Desconhece-se igualmente a existência de ferramentas de apoio à decisão que sejam comuns a todos os níveis de comando, havendo apenas a divulgação da existência de sistemas de informação.

1.1.4 Particularidade da proteção portuária

A participação de forças militares em assuntos de segurança como o tratado pelo grupo de trabalho GT DAT POW é um tema relativamente recente, não havendo experiência adquirida que permita a elaboração de doutrina nem o apoio do processo de decisão a qualquer nível. A investigação do ataque terrorista ao USS Cole [71], aponta exatamente para essas conclusões. Quer a nível militar, quer a nível civil, são realizados exercícios de curta duração, essencialmente dirigidos à venda de equipamentos passíveis de serem usados pelas forças de segurança. Raramente são recolhidos dados e quando o são, não são divulgados, como o exercício HPX15 [46]. Como alternativa, o recurso a exercícios ou a técnicas de simulação pode permitir suprir a falta de situações reais. No entanto, os atuais simuladores têm necessidade de operadores humanos a jogarem como agentes, o que os torna impraticável para explorar todas as variáveis encontradas num cenário real.

O uso de grandes quantidades de dados para obter visibilidade sobre os processos internos do simulador, denominado de *data farming*, é uma área atualmente abordada pela NATO, conforme Horne *et al.* [47], onde é apresentada uma situação dedicada à seleção de equipamentos para combate terrestre. Ainda no meio militar, a *Naval Postgraduate School (NPS)*, sediada em *Monterey*, EUA, mantém com regularidade conferências internacionais dedicadas ao tema de *data farming*, apresentando atualmente um total de 257 trabalhos relacionados com produção e pesquisa de dados para uso militar. No mundo civil, pode ser referido Robinson [97], o qual utiliza a simulação para analisar estruturas rodoviárias num aeroporto. Consultando os *proceedings* presentes na NPS, encontram-se igualmente trabalhos dedicados à proteção de fronteiras, uso de barreiras para conter multidões e combate a engenhos explosivos improvisados, tudo temas da área da segurança.

Para efeitos de simulação, a experiência adquirida com proteção de forças, em situação de conflito armado, interditando à navegação a área crítica, leva a considerar:

- Dispositivo fixo de sensores móveis ativos e passivos, eletromagnéticos, acústicos e óticos, aproveitando as características geográficas, meteorológicas e do alvos para otimização da cobertura;
- Embarcações tripuladas com sensores embarcados, em patrulha de área;
- Posto de comando, controlo e comunicações;
- Postos de observação e reação em terra.

Devido à particularidade de se tratar de uma operação longínqua, minimizando a interferência com a população local, deverá ser ainda considerado: apoio da nação; seleção atempada dos sensores, equipamento e pessoal especializado, para pedido às nações; conhecimento atempado de volume e peso a transportar, para obtenção de custos de transporte; atividades locais de navegação, possibilitando diferentes manobras por parte dos terroristas; simpatia da população perante a interferência de uma força estrangeira; apoio logístico para garantia da autonomia da força; necessidade de apoio local para fins linguísticos e criminais.

1.2 PROPOSTA DE TESE

1.2.1 Objetivo

Desenvolver um conjunto de ferramentas e metodologias integradas, designado por *SecurePort*, esquematicamente presente na figura 2, que permita responder às seguintes questões:

- Decisor estratégico: quanto me custa garantir um potencial benefício? Está contemplada uma heurística condutora de um simulador multiagente para obtenção da relação benefício/custo para um alargado conjunto de custos.
- Planeador: o que preciso, em termos de pessoal e equipamentos para garantir um determinado benefício, e a que preço? Está contemplado um simulador multiagente, baseado em capacidades reais, para obtenção do custo e benefício associado a um dispositivo de segurança.
- Comando operacional: onde devo dispor o pessoal e equipamento disponíveis para otimizar o benefício? Está contemplado um sistema de apoio à decisão baseado em sensores disponíveis, informação geográfica e ambiental.
- Comando tático: qual a doutrina que devo aplicar para otimizar o benefício? Não está contemplado o desenvolvimento de sistemas de apoio à decisão para uso *online* pelo Comando tático, apenas um conjunto de boas práticas no emprego do seu pessoal e equipamentos, incluindo empenhamento e atribuição de áreas de patrulha.

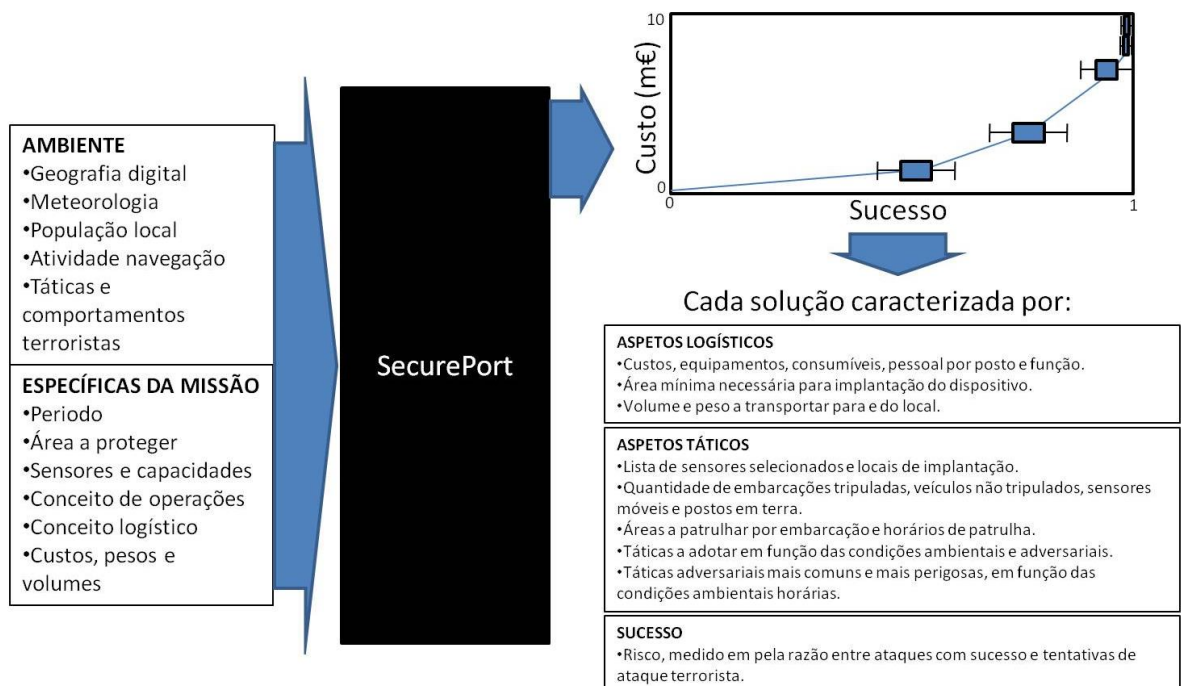


Figura 2 *SecurePort* como *black box*.

O *SecurePort* deverá responder a todos os objetivos propostos no presente trabalho.

1.2.2 Estrutura da investigação

A estrutura da investigação está sumarizada na figura 3, contemplando:

- Analisar ferramentas de apoio à decisão existentes, desenvolvendo pressupostos, cenários possíveis, variáveis a considerar e a obter;
- Analisar procedimentos que permitam uma maior eficácia e eficiência de sensores móveis e embarcações em patrulha, com base nos atuais sistemas de comando e controlo de forças projetadas, para uso pelo comando tático;
- Otimizar a cobertura de sensores estáticos, definindo os sensores fixos e respetivos locais de instalação, para uso pelos comandos operacional e tático;
- Desenvolver um algoritmo de cálculo de custo da missão, funcionando automaticamente após definidas as necessidade de pessoal e equipamento, para diálogo com o comando estratégico;
- Desenvolver um simulador integrado que permita:
 - Simular toda a atividade local e interações entre todos os agentes, incorporando os resultados obtidos pelo otimizador de cobertura, otimizador de tarefas e calculador de custos, com visualização de resultados, para uso do comando tático;
 - Ser iniciado automaticamente sem intervenção do operador, gravando variáveis de entrada e resultados, permitindo a implementação de heurísticas de melhoria, para uso do comando tático;
 - Apresentar a relação entre custos e sucesso da missão, detalhando para cada ponto da relação a melhor utilização dada ao pessoal e equipamento empregues, para uso do comando estratégico.

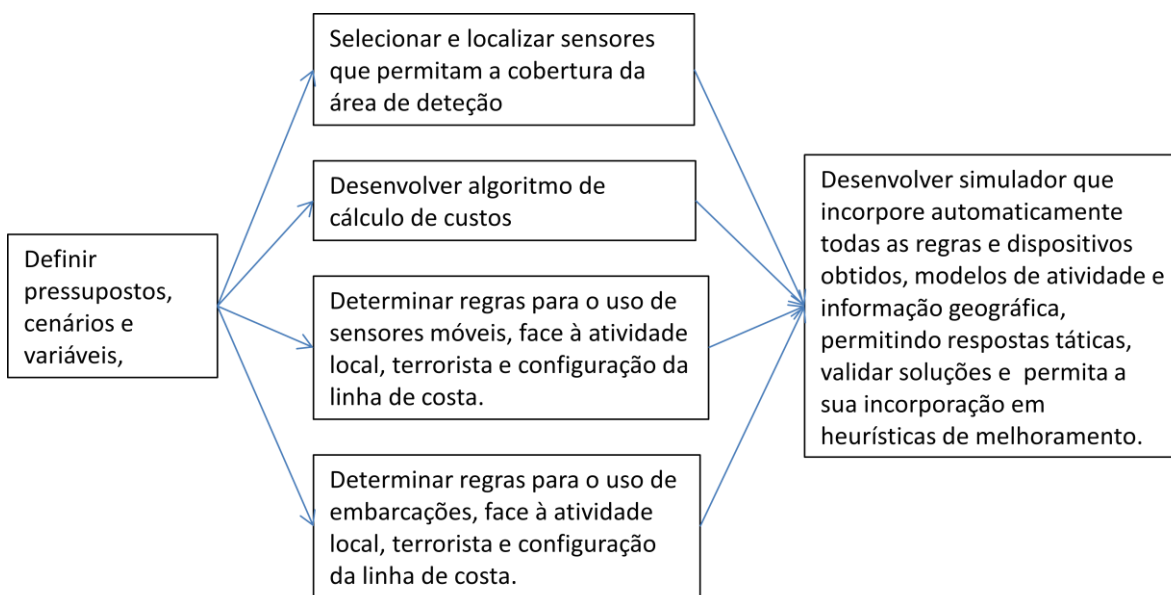


Figura 3 Estrutura da investigação

1.2.3 Simulação

Conforme descrito na história do INFORMS (*Institute for Operations Research and the Management Sciences*) [48], a investigação operacional utiliza um largo número de técnicas de resolução de problemas e métodos para conseguir melhorar o apoio à decisão, entre as quais a simulação, otimização matemática, processos *Markovianos*, redes neurais e outros. Sempre que

um investigador operacional se deparar com um novo problema, deve determinar quais os métodos mais apropriados para os resolver, face às restrições de tempo e computacionais. O uso combinado de técnicas de simulação e filas de espera é explorado e analisado em Dijk *et al.* [25], recorrendo à simulação discreta.

A simulação constitui uma abordagem insubstituível para avaliação de possíveis decisões em sistemas e contextos, como o do trabalho presente, que sejam excecionalmente complexos, tendo em conta as suas características dinâmicas, combinatórias, estocásticas e não lineares. A aplicação de técnicas de simulação a sistemas dinâmicos pode ser feita através da discretização, ou não, da variável tempo (simulada), Robinson [97].

No primeiro caso, que é indubitavelmente o mais comum em problemas típicos de Investigação Operacional, essa discretização pode ser feita segundo um de dois paradigmas: *simulação de acontecimentos discretos* ou *simulação em tempo discreto* (subentende-se: de passo fixo).

O primeiro paradigma é o mais utilizado quando o sistema inclui explicitamente filas de espera e quando os processos de chegada de entidades às filas são independentes do estado do sistema. A variável tempo é simulada apenas nos instantes em que se verifiquem “acontecimentos”, isto é, em que haja alterações no estado de uma ou mais entidades.

No segundo paradigma, o tempo é discretizado em intervalos iguais (*time-steps*), relativamente pequenos, e assume-se que há ou pode haver alterações de estado, ainda que apenas ligeiras, em todos eles. Este paradigma é comum na simulação de sistemas envolvendo apenas “depósitos” de bens ou materiais: por exemplo, processos de aprovisionamento ou de investimento. Infelizmente, não é ainda muito utilizado na simulação de sistemas em que seja essencial descrever o movimento de entidades no espaço – por exemplo, em problemas relativos a sistemas de transporte ou de emergência. Pelo contrário, a simulação em tempo discreto é bastante considerada em aplicações na área da defesa, por ser essencial conhecer (quase) permanentemente as posições e movimentos de todos os agentes presentes no teatro de operações.

Conforme notado por Robinson [97] e Shannon [101], o desenvolvimento de um simulador complexo envolve uma ligação profissional estreita e temporalmente muito longa entre especialistas de desenvolvimento informático, analistas e especialistas do cenário que se pretende simular. Caso o cenário seja muito complexo, é ainda necessário identificar vários especialistas. Este desenvolvimento pode prolongar-se durante anos, com reuniões constantes entre responsáveis, que por norma vão variando com o tempo. A alternativa é conseguir concentrar num único indivíduo quer perícias de desenvolvimento quer conhecimento profundo sobre o cenário, garantindo que o resultado final se aproxima bastante do inicialmente traçado.

Em organizações de investigação militar, como a NATO-Science and Technology Organization, encontra-se em Martins *et al.* [67] uma referência ao uso de simuladores multiagentes para analisar problemas táticos, em Schubert *et al.* [99] um trabalho relativo ao uso da simulação para apoiar a decisão do comando operacional, em Sikandar [103] uma análise da eficiência de armamento na proteção de navios fundeados. Ligado ainda à área da defesa, mais concretamente a construção de unidades navais combatentes, Fabbri [32] apresenta uma proposta de *Serious Game* para avaliar a eficácia de diversos meios autónomos na proteção própria contra ameaças submarinas.

1.2.4 Estrutura da tese

- **Capítulo 1. Proteção portuária.** Introdução ao tema da proteção portuária, desenvolvimento da investigação e análise de trabalhos congéneres.
- **Capítulo 2. Cenários de proteção portuária.** Aprofunda a complexidade da proteção portuária, descrevendo e catalogando o ambiente, agentes e atividades, propondo-se cenários estratégicos para aplicação na proteção portuária. Observando o código de boas práticas em uso na NATO [70], para desenvolvimento de ferramentas de apoio à decisão, delimitou-se o problema e criaram-se cenários operacionais, para realização de experiências cobertas pelos restantes capítulos. Para efeitos da simulação de um sistema de apoio à decisão tático, foi desenhada uma matriz morfológica de atividades, destinada a definir a necessidade de um sensor extra no processo de classificação.
- **Capítulo 3. Experimentador de táticas.** Dedicar-se ao estudo do controlo tático de embarcações e veículos não tripulados, perante diferentes valores de variáveis aleatórias e adversariais, assumindo diversos pressupostos necessários para uma menor carga computacional. Não sendo o problema de classificação de eventos em ambiente portuário muito divulgado em termos de produção científica, optou-se por analisar a formulação de problemas de natureza combinatória encontrados com alguma regularidade, como os de OP, JSSP e VRP. A partir dessas formulações, são desenvolvidos os objetivos e matrizes necessárias ao desenvolvimento do experimentador.
- **Capítulo 4. Cobertura por sensores fixos.** Otimização da cobertura de deteção portuária obtida por sensores ativos fixos, definindo sensores e a sua localização.
- **Capítulo 5. Logística e custos.** Obtenção automática do custo de montagem, operação e desmontagem de um dispositivo projetado para defesa portuária antiterrorismo, a partir da necessidade de veículos e sensores.
- **Capítulos 6 e 7. Simulador.** É desenvolvido um simulador com capacidade de modelar as variáveis descritas no capítulo 2, incorporando as regras definidas no capítulo 3, implementando os algoritmos do capítulo 4, usando o cálculo de custos do capítulo 5 e fornecendo diversos indicadores associados ao desempenho do dispositivo de segurança. Esses indicadores serão depois usados por uma heurística que otimizará o desenho das áreas de patrulha. Como resultado, resposta aos quatro objetivos inicialmente delineados.
- **Capítulo 8. Conclusões.** Em retrospectiva, o caminho percorrido. Em perspetiva, intenções relativamente ao seu uso prático, quer em termos de ensino quer em termos de implementação do *SecurePort*.

1.3 ANÁLISE DE TRABALHOS ANTERIORES

1.3.1 Comparação com outros cenários antiterrorismo

Em aeroportos, portos, edifícios e espaços livres controlados, o controlo dos utentes é efetuado através de zonas de controlo, impossibilitando a livre circulação de pessoas e bens para o interior da área crítica. O número de postos de controlo e equipamentos de segurança é obtido utilizando técnicas de filas de espera. A classificação de não terrorista é atribuída após minucioso controlo de identidade, vestuário e bagagem, recorrendo a técnicas invasivas e não invasivas. Após passagem pelos postos de controlo, a movimentação de pessoas e bens é livre. Este procedimento de controlo obriga a que em toda a área envolvente estejam posicionadas barreiras físicas ou similares, que impeçam a entrada de pessoas ou bens sem ser pelos postos de controlo; este tipo de controlo só é

aceitável desde que o número de pessoas a controlar seja relativamente diminuto e o tempo de espera no posto de controlo não coloque demasiados entraves à atividade das mesmas.

Em locais públicos, com grandes aglomerações de pessoas, o controlo é efetuado através da análise de comportamentos, recorrendo-se a sofisticados meios de vigilância ótica e agentes de segurança no terreno. Atualmente já é possível a identificação de pessoas pela análise da face, sendo no entanto a base de dados de suspeitos relativamente exígua e sujeita a erros de interpretação. Este tipo de controlo envolve grandes custos, financeiros pessoais e tecnológicos.

Para o controlo aleatório de viaturas, recorre-se à facilidade de a movimentação das mesmas se efetuar em locais restritos, possibilitando assim a criação de postos de controlo sem erigir barreiras. As ações de controlo são circunscritas temporalmente, de curta duração, envolvendo um elevado número de pessoal e equipamento.

1.3.2 Sensores

Os sensores contemplados no *SecurePort* são dos tipos radar, sonar, eletro-ótico, infravermelho e visual. Os documentos de referência foram todos produzidos por organismos de defesa ou segurança, quer NATO quer nacionais. Em todos eles existe uma clara preocupação com problemas de defesa e segurança contra indivíduos ou pequenas embarcações. Em Wang [112] são debatidos diversos modelos de integração de deteção teórica conseguida por sensores omnidirecionais.

Radar e visual

Em Osmer *et al.* [76], em trabalho efetuado para a Guarda Costeira dos EUA, são descritas Curvas de Probabilidade de Deteção Acumulada de radares dedicados à deteção de pequenas embarcações. Foram obtidas após dois anos de observações, estando aí descritos dois radares específicos, AN/SPS-64(V) e AN/SPS-66, tendo sido consideradas não só as deteções realizadas como as oportunidades de deteção perdidas. Para obtenção da curva de probabilidade de deteção acumulada foi usado um modelo de regressão logística. São experiências de custo muito elevado, devido ao número de plataformas e número de horas requerido para a sua realização. No mesmo trabalho, foram obtidas as deteções iniciais por vigia, sendo igualmente fornecidas curvas de probabilidade de deteção acumulada para o sensor visual.

Em Côrte-Real [16], são apresentadas e discutidas diversas curvas de probabilidade de deteção acumulada de observação visual e ótica, a partir de unidades navais da Marinha de Guerra Portuguesa, para efeitos de aplicação na Busca e Salvamento Marítimo. O método de regressão logística é novamente utilizado com sucesso na modelação de deteções, sendo os seus parâmetros obtidos a partir de observações reais.

Sonar

Em Kessel *et al.* [56] pode encontrar-se o estado da arte relativamente a sonares anti-mergulhadores usados em proteção portuária. É aí referido o problema da representação de ecos falsos, tendo a indústria desenvolvido sistemas que automaticamente analisam várias sequências temporais, filtrando todos os contactos de movimento aleatório ou intermitente. As probabilidades de deteção variam aqui não só em termos de distância ao alvo mas igualmente em termos de profundidade do alvo e do sonar. A existência de esteiras provocadas por embarcações de superfície cria não só contactos falsos mas igualmente mascara a presença de mergulhadores. Apesar de relatar a existência de várias sessões com observações reais, concluiu não terem sido conclusivas para a definição de curvas de probabilidade de deteção acumulada. As distâncias de deteção variam entre

150 e 800 metros, fortemente influenciadas pelas condições locais (coluna de água, fundo, navegação).

Em Caiti *et al.* [10] são usados modelos matemáticos de sonares e barreiras magnéticas para testar a implementação destes equipamentos num dispositivo de proteção portuária. Estes modelos são sobrepostos a um sistema de informação geográfica, permitindo ao utilizador desenhar manualmente trajetórias de intrusos. Ignora por completo o ruído ambiente, as refrações e falsos contactos, sendo apenas interessante verificar que as curvas de probabilidade de deteção acumulada seguem igualmente um formato sigmoidal, só que dependente da profundidade relativa entre mergulhador e sensor e a velocidade de propagação do som (evitando assim o problema da maré). Como não considera contactos falsos, não levanta a necessidade do tratamento automático de ecos.

Electro ótico e infravermelho

Koretsky *et al.* [58] elabora um estado da arte relativamente aos equipamentos utilizados para efeitos de defesa e segurança nos EUA, descrevendo de forma exaustiva quer a componente teórica quer os últimos desenvolvimentos tecnológicos. Não tece no entanto qualquer consideração em relação ao desempenho real ou utilização tática, matéria sujeita a classificação.

Nichols *et al.* [72] desenvolve um trabalho destinado a comparar o desempenho de diversos sistemas de eletro-óticos e infravermelhos em ambiente marítimo. Compara os resultados obtidos com diversos modelos teóricos e conclui que a sua aproximação permite calcular previsões de alcances para condições diferentes das testadas. As curvas de probabilidade de deteção apresentadas seguem igualmente formatos tipo sigmoidal, com distâncias de deteção a variar entre 1000 e 1500m.

1.3.3 Automated Red teaming

A simulação tem sido recentemente usada para compreender a complexa interação entre agentes humanos num determinado cenário, coexistindo agentes de segurança, agentes que tentam comprometer o dispositivo de segurança e agentes neutros, em atividades locais. Em Ranjeet *et al.* [83], são simulados dois grupos de agentes, sendo que um pretende proteger uma instalação portuária (agentes azuis) e o outro pretende atacar o dispositivo (agentes vermelhos). As forças azuis patrulham uma determinada área, seguindo rotas e velocidades determinísticas, enquanto as forças azuis seguem trajetórias lineares, a partir de posições conhecidas. A área marítima não está circunscrita por terreno, não havendo qualquer preocupação nem com a segurança da navegação nem com zonas de cobertura ou sensores. A otimização do dispositivo de defesa é efetuada através de um algoritmo genético.

Em Decreane *et al.* [21,22], o objetivo é otimizar a segurança de navios contra ataques por piratas. Em Chua *et al.* [15], a simulação é igualmente usada para analisar o ataque a uma zona costeira. Nenhuma das ferramentas usadas tem preocupações com o terreno e sensores (assumem como garantida a deteção a partir de uma determinada distância, sem qualquer uso de modelos ou curvas de probabilidade de deteção acumulada), problemas de classificação (as forças vermelhas são classificadas como tal logo que entram no cenário) ou comportamentos, apesar de referirem que podem ser incluídos. São utilizados números pseudo-aleatórios na posição inicial das forças, situação controlada com recurso a 30 réplicas por experiência.

1.3.4 Simulação social

Em Raczinski [81] pode ser encontrada uma análise dos esforços desenvolvidos pelos EUA no entendimento das interações entre estruturas terroristas e anti-terroristas, decorrentes do ataque às

torres gêmeas em 11 de setembro de 2001. Apresenta um simulador orientado para agentes, onde estes se movimentam e interagem num espaço a duas dimensões. Estas interações são aleatoriamente selecionadas dentro de um conjunto de opções, permitindo a captura, colaboração, ataques terroristas e infiltração de agentes anti-terroristas em células terroristas. Existem ainda agentes neutrais, os quais não desempenham qualquer papel no processo. O modelo corre com dados virtuais, sem qualquer ligação à realidade, sendo interessante para descobrir relações entre comportamentos e resultados finais. Em Ochoa *et al.* [73], são usados algoritmos evolutivos para simular comportamentos humanos, tendo como campos de aplicação problemas logísticos e a análise de dinâmicas nas relações entre comunidades ou entre indivíduos.

1.3.5 Métodos para tratamento estatístico de resultados

O *SecurePort* pretende fornecer informações a diversos utilizadores, sendo que para cada solução deve fornecer o resultado esperado e o pior resultado. A metodologia de análise de superfícies (RSM, de *Response Surface Methodology*), descrita em Box *et al.* [8] e Kleijnen [57], permite analisar o resultado de experiências sujeitas a erros de observação, tentando capturar o resultado esperado para um dado conjunto de variáveis iniciais. Não menciona qualquer preocupação com a obtenção do pior resultado possível, sendo no entanto uma metodologia útil para tentar compreender o funcionamento do sistema.

Em Kleijnen [57], são referidos dois tipos básicos de simulação:

- Determinístico, onde o mesmo conjunto de variáveis de entrada obtém sempre o mesmo resultado;
- Aleatório, onde o mesmo conjunto de variáveis de entrada obtém resultados diferentes em várias simulações, sendo necessário obter um valor esperado.

O uso de amostragem com cubos latinos e metodologias de RSM são referidos, devido às atuais possibilidades de computação paralela, não sendo necessário aguardar por um resultado para seguir para a próxima solução. Os métodos apresentados, *Kriging* e RSM, preocupam-se com dados de entrada e dados de saída, tratando todo o processo como uma *black box*. Em Kleijnen [57] é também apresentada uma adaptação da metodologia de otimização robusta proposta por Taguchi em 1987 e originalmente desenvolvida para o desenho de viaturas da Toyota capazes de operar em ambientes hostis. Outros trabalhos na mesma área preocupam-se não só com o valor esperado mas igualmente com o desvio padrão das soluções, de modo a capturar a incerteza do mundo real.

1.3.6 Interceção de alvos móveis em ambiente marítimo

A interceção de alvos móveis em ambiente marítimo é um dos desafios presentes na fase de simulação do ambiente portuário, quando é necessário definir um rumo de interceção para os botes de segurança. O problema tem sido tratado na área da robótica, onde se utilizam grafos de visibilidade reduzida para a obtenção de pontos a percorrer, resolvendo depois um problema de caminho mais curto. Estes grafos são obtidos traçando polígonos convexos a cobrirem polígonos de obstáculos, depois de um primeiro tratamento para eliminação do número de vértices de cada polígono.

Em Simetti [106] é abordado o problema das colisões entre veículos de superfície não tripulados, trabalho retomado por Gouvêa [41], onde são analisados e comparados diversos métodos para encontrar o caminho de interceção perante obstáculos, com aplicação em ambiente marítimo. Os algoritmos usados são “Dijkstra”, “Bellman-Ford”, “Floyd-Warshall”, “A*” e “Colónia de Formigas”. Os pontos possíveis de serem percorridos são obtidos de grafos de visibilidade reduzida, eliminando

assim caminhos dominados. Apesar de Gouvêa [41] apresentar exemplos de intercepções marítimas, não considerou na realidade um cenário real, antes utilizando cartas náuticas para simular movimentos em terra, pelos seguintes motivos:

- Ignora o facto de neste ambiente as embarcações estarem sujeitas a correntes;
- Ignora a situação rotineira de alterações de rumo e velocidade por parte do alvo;
- Ignora as alterações de área navegável face às variações de maré;
- Por motivos de segurança as embarcações não traçam tangentes a terra;
- Não têm ainda aplicação em zonas de costa recortadas, já que apenas contemplam a existência de polígonos no interior de uma área navegável;
- Existe demasiado artificialismo no desenho de polígonos sobre os obstáculos (grafos de visibilidade reduzida), permitindo situações em que o alvo fique fora do alcance do intercetor, simplesmente por navegar junto de uma área artificialmente considerada como de não navegação (figura 4);
- Não é criada a sensação de realismo quando se observam os trajetos percorridos pela navegação, já que qualquer diagonal é percorrida usando degraus, tanto maiores quanto menor for o número de pontos do grafo criado.

O mesmo autor efetua um resumo de vários estudos publicados sobre o problema, maioritariamente aplicados à robótica terrestre, de veículos movimentando-se em recintos fechados com obstáculos definidos por polígonos entre 3 a 6 faces. Todos eles padecem das mesmas dificuldades na adaptação ao mundo marítimo, preferindo aumentar a complexidade de cenários artificiais em vez de tentarem modelar situações reais. Este assunto é central para o simulador, encontrando-se desenvolvido no capítulo 6, onde se apresentam os métodos adotados quer para a navegação segura quer para a intercepção de alvos móveis, em fuga, em trânsito ou exercendo atividade local.

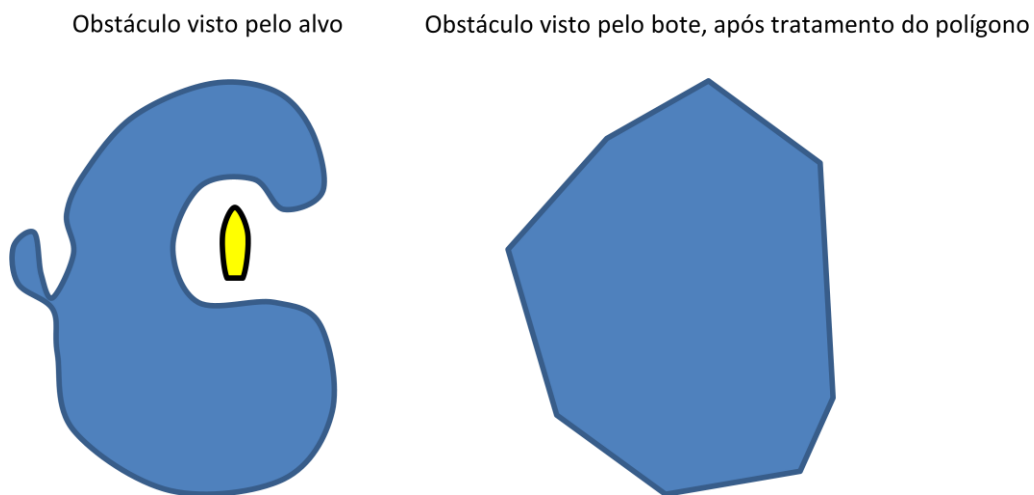


Figura 4 Minimização de vértices de um obstáculo

CAPÍTULO 2. CENÁRIOS DE PROTEÇÃO PORTUÁRIA

O presente capítulo pretende aprofundar a complexidade da proteção portuária, descrevendo e catalogando o ambiente, agentes e atividades, propondo-se cenários estratégicos para aplicação na proteção portuária. Observando o código de boas práticas em uso na NATO [70], para desenvolvimento de ferramentas de apoio à decisão, delimitou-se o problema e criaram-se cenários operacionais, para realização de experiências cobertas pelos restantes capítulos. Para efeitos da simulação de um sistema de apoio à decisão tático, foi desenhada uma matriz morfológica de atividades, destinada a definir a necessidade de um sensor extra no processo de classificação.

2.1 AMBIENTE PORTUÁRIO

Na língua portuguesa, um porto¹ é um lugar da costa onde os navios podem fundear, para descanso e proteção. Todas as infraestruturas portuárias, para carga e descarga ou embarque e desembarque são localizadas no interior de portos. Em inglês britânico, um *harbour*² tem o significado de porto, enquanto o nome comum *port* diz respeito a uma área onde os navios atracam e desatracam (poderá considerar-se que o equivalente em português será terminal, cais, doca). Entende-se assim que a tradução de *harbour protection* se estende a todos os locais onde um navio se pode abrigar e não se restringe àqueles onde existem infraestruturas portuárias. Por consulta de páginas institucionais associadas ao comércio marítimo, encontram-se identificados 8293 portos [114] com terminais internacionais de comércio ou passageiros, estando 3024 localizados na Europa e 29 em Portugal. Não foi encontrada qualquer relação de abrigos naturais ou artificiais, nem a nível nacional nem a nível internacional.

Usando apenas Portugal Continental como referência, temos portos (*harbour*) como o da Aguda, com 4ha, constituídos por locais com fundos de boa tença (normalmente arenosos, permitindo que uma âncora ou ferro consigam aguentar o ímpeto de um navio sujeito às forças combinadas de vento e correntes) e portos, como o de Lisboa, com 32500ha, onde decorrem em simultâneo atividades comerciais, industriais e recreativas. Diversas autoridades assumem responsabilidades pela área molhada e margens, sendo que a Administração do Porto de Lisboa (APL) [1] é responsável por dezanove terminais de carga, três terminais de cruzeiros e quatro docas de recreio, os Transportes de Lisboa por nove terminais [108], a Doca Pesca com dois terminais [27], a Náutica de Recreio com seis marinas ou docas de recreio (quatro contabilizadas igualmente pela APL), Marinha de Guerra e Autoridade Marítima Nacional com quatro [3,64], estando ainda atribuídos dois terminais à Aliança Norte Atlântica. Por observação das cartas de Lisboa produzidas pelo Instituto Hidrográfico, verifica-se que várias administrações camarárias contam com pequenos cais de atracação e fundeadouros para fins diversos (Oeiras, Lisboa, Alcochete, Montijo, Barreiro, Seixal, Almada e Moita). Não sendo infraestrutura portuária mas tendo grande impacto social e económico nacional, sobre o fundo da área molhada estão ainda assentes os pilares de duas grandes vias de comunicação rodoviária e ferroviária, designadamente as pontes 25 de Abril e Vasco da Gama.

Diversas autoridades públicas exercem algum tipo de autoridade sobre a área molhada, designadamente a Autoridade Marítima Nacional (Capitania do Porto de Lisboa, Direção de Faróis, Socorros a Náufragos e Combate à Poluição), a Administração do Porto de Lisboa, o Serviço de Estrangeiros e Fronteiras, a Autoridade Tributária e Aduaneira, Autoridade de Saúde, Autoridade de Mobilidade e Transportes, Guarda Nacional Republicana, Instituto de Conservação da Natureza,

¹ Porto, in *Dicionário Priberam da Língua Portuguesa*, www.priberam.pt/dlpo/porto

² Harbour, in *Cambridge Dictionaries Online*, dictionary.cambridge.org/dictionary/english/harbor

Direção Geral de Recursos Naturais, Segurança e Serviços Marítimos e Câmaras Municipais. A recentemente publicada Estratégia Nacional de Combate ao Terrorismo [23] refere como essencial a proteção de entradas no território, infraestruturas de transporte marítimo, aéreo, rodoviário, ferroviário, de energia, combustível e gás, sendo ainda possível considerar-se como críticos os monumentos públicos, locais de aglomeração de pessoas, redes de abastecimento de água, sistemas bancários.

A Avaliação Nacional de Risco [4], produzida pela Proteção Civil em 2014, segundo os princípios emanados pelo *Council of the European Union* [17], nada refere em relação à ameaça terrorista, pelo que será de esperar futuros desenvolvimentos nesta área, já que por exemplo, o Porto de Lisboa conta com uma vasta fronteira não controlada e permite um acesso rápido a praticamente todas as áreas consideradas como vulneráveis. Por outro lado, a estratégia nacional refere a necessidade de coordenação, prevendo que cada infraestrutura crítica deva ter um responsável pela segurança. É no entanto omissa relativamente ao espaço molhado, que apesar de ser comum a muitas infraestruturas, não tem um responsável único designado.

Saber o que diferencia cada porto, quer em termos políticos quer em termos de utilidade e impacto, tem uma influência significativa na definição do dispositivo de segurança a aplicar, bem como nos seus objetivos. Agrupando os portos por características, aliviará a dificuldade de definir a segurança para cada um dos cerca de 8300 portos identificados atualmente. Definindo-se o dispositivo padrão para um conjunto razoável de tipologias portuárias, poderá depois ser utilizada essa configuração, com alguns ajustes, para qualquer porto. O presente capítulo irá abordar metodologias para agrupar características, seguindo depois para a definição dos agrupamentos.

2.2 REVISÃO DE METODOLOGIAS PARA CONSTRUÇÃO DE CENÁRIOS

2.2.1 Introdução

A modelação de cenários envolvendo dimensões políticas e sociais inviabiliza normalmente o uso de métodos puramente quantitativos, já que muitos dos factores envolvidos são complexos e dificilmente quantificáveis, o mesmo se aplicando às relações entre eles. Por esse motivo, é necessário recorrer a métodos alternativos (de Wall *et al.* [20]), quer para descrever factores quer para analisar a forma como se relacionam.

Em Ritchey *et al.* [90,92], foram analisados diversos métodos de modelação em uso, sendo seleccionadas as dimensões de especificação de variáveis (especificadas ou não), direcionalidade (ligação direta ou simétrica), quantificação (da relação entre variáveis), existência de ciclos internos e tipo de conectividade entre variáveis (causal funcional, causal probabilística, quase-causal ou influência e não causal). Os métodos analisados foram Análise Morfológica, *System Dynamics*, Redes Bayesianas, Diagramas de Influência, Grafos, Árvores de Decisão Probabilística, entre outros, obtendo-se a classificação morfológica³ do quadro 1.

³ Em Ritchey [96], o método morfológico para criação ou estudo de ideias está associado a diversas disciplinas científicas onde a estrutura formal é a preocupação central, permitindo descobrir configurações ou relações menos evidentes com outros métodos menos estruturados.

Quadro 1 Comparação entre métodos de modelação (adaptado de Ritchey [90,92])

	Especificação interna das variáveis	Direccionalidade das relações	Quantificação das relações	Cíclica	Tipo de conectividade
Morfológicos	Sim	Não	Não	Sim	Não causal
<i>System Dynamics</i>	Sim	Sim	Sim	Sim	Matemática
Rede Bayesiana	Sim	Sim	Sim	Não	Probabilística
Diagrama Influência pesada	Não	Sim	Sim	Sim	Quase causal
Diagrama influência não quantificada	Não	Sim	Não	Sim	Quase causal
Grafo não direto e não quantificado	Não	Não	Não	Sim	Não causal
Árvore probabilística	Não	Sim	Sim	Não	Probabilística
Hierarquia analítica não pesada	Não	Sim	Não	Não	Não causal

Em situações onde não seja possível ou desejável estabelecer relações de causalidade, os modelos morfológicos permitem a sua modelação, sendo no entanto difícil a obtenção de caminhos a seguir para se obter um estado desejado. Diversos autores combinam alguns dos métodos, tentando conjugar as vantagens de ambos, minimizando ainda as desvantagens. Em de Wall *et al.* [20], são combinados modelos morfológicos e redes *bayesianas* (ver Jensen *et al.* [52]), para um problema ligado ao ambiente, Buzuku *et al.* [9] propõem o uso de modelação morfológica e da metodologia *Design Structure Matrix* (DSM), igualmente para problemas ambientais.

2.2.2 General Morphological Analysis

A generalização da análise morfológica, “*General Morphological Analysis* (GMA)”, para o estudo de inter-relações entre fenómenos, conceitos e ideias foi inicialmente apresentada por Zwicky *et al.* [117,118]. Usando uma “*Morphological Box*”, o autor apresenta trabalhos já realizados na catalogação e exploração de problemas, soluções e sistemas complexos relacionados com sistemas de propulsão de foguetões e debate de aspetos legais da exploração das viagens espaciais e colonização.

Para o desenvolvimento da GMA, Zwicky definiu os seguintes passos:

- O problema a ser resolvido deve ser formulado de forma exata;
- Todos os parâmetros que podem fazer parte da solução devem ser localizados e caracterizados. O número de características por parâmetro é livre, sendo que apenas faz sentido um parâmetro caso contenha mais do que uma característica;
- Construção da “*Morphological box*”, tendo os parâmetros como colunas e as características como linhas. Uma solução, problema ou sistema distinto deve conter uma e apenas uma característica de cada parâmetro (diversos autores posteriores referem-se a esta matriz multidimensional como “*Zwicky box*” (figura 5));
- Todas as soluções contidas na matriz são analisadas tendo em vista o objetivo que se pretende atingir;
- As melhores soluções são selecionadas e desenvolvidas. Esta fase carece de uma análise morfológica complementar.

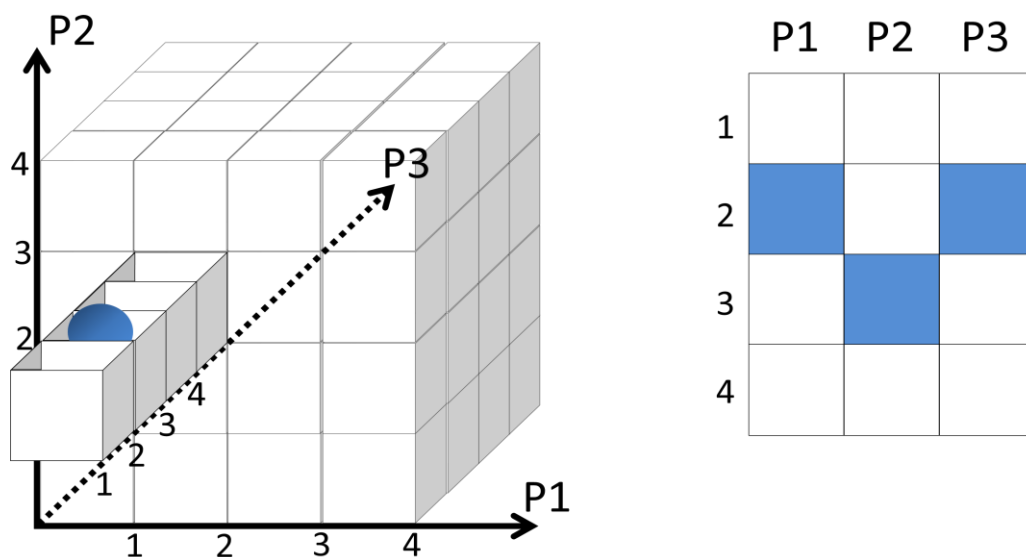


Figura 5. Representação de uma solução com 3 parâmetros.

As células sombreadas na “Zwicky box” representam a célula azul da tabela de 2 dimensões (Ritchey [91], p. 4).

A primeira utilização prática da GMA data de 1939 (Zwicky *et al.* [118]), tendo sido usada na definição de sistemas de propulsão de foguetes baseados em energia química. Da matriz desenvolvida (quadro 2) podem ser obtidas 576 soluções diferentes para sistemas de propulsão de foguetes movidos a energia química, embora na altura do estudo apenas tivessem sido desenvolvidas cinco soluções. O autor refere ainda que não foi possível ultrapassar o passo 4, devido aos custos e tempo envolvidos.

Quadro 2 Morphological Box

Meio de movimentação do foguete	Movimento do propulsante em relação ao foguete	Estado físico do propulsante	Controlo da potência	Ignição	Sequência de operações
Vácuo	Descanso	Gasoso	Nenhum	Automática	Contínua
Atmosfera	Translação	Líquido	Interno	Externa	Intermitente
Líquido	Oscilatório	Sólido	Externo		
Sólido	Rotacional				

2.2.3 Desenvolvimentos da GMA

A GMA foi usada em campos políticos e no desenvolvimento de cenários, onde a incerteza é genuína e a maioria dos factores não são quantificáveis. Nos anos 90, Godet [39] reconhece e apresenta diferentes futuros políticos alternativos, devido ao fenómeno da globalização, defendendo que as soluções devem cobrir todo o leque de possibilidades e não apenas o de maior probabilidade de ocorrência (desenvolve três tipos de cenários, os possíveis, os desejáveis e os realizáveis), Rhyne [87] analisa e propõe soluções para o exercício da soberania nos espaços marítimos da Indonésia.

Mais recentemente, Duckzinski *et al.* [28] defendem que problemas confusos e perversos (*wicked and messy problems* no original) podem ser encarados usando a “Zwicky box”. Defendem os autores que este tipo de problemas tem sempre uma grande componente social, como o uso de armas de fogo nos EUA, contrabando de pessoas, caça à baleia por pescadores japoneses, terrorismo, obesidade, fraca utilização de transportes públicos e uso excessivo de fertilizantes químicos. Estes

autores definem seis passos para a definição de cenários ou problemas, requerendo uma equipa alargada e multidisciplinar.

- Definir o problema e pedir à equipa para definir os factores que o compõem;
- Registar os factores fornecidos pela equipa;
- Reduzir a lista de factores a sete ou menos. Definir condições que caracterizem cada um dos factores, começando no mais favorável e terminando no menos favorável;
- Emparelhar cada condição de um factor com todos os outros factores e condições, eliminando os pares que não façam sentido para a equipa;
- Obter concordância com as configurações. Definir a configuração atual, a configuração desejada e examinar as configurações intermédias;
- A partir da configuração atual, definir a variação desejada de condições até se obter a configuração desejada.

Para o problema da sustentabilidade da segurança no Afeganistão, a equipa definiu como factores “Sistemas de Informação”, “Cadeia de tomada de decisão”, “Liderança”, “Gestão”, “Relações Interdepartamentais”, “Objetivos de capacidades” e “Integridade”. As condições desejáveis definidas são formadas por valores, como integrada, informada, ativa, proativa, coesa, clara e honesta, enquanto as condições indesejáveis são ausente, catatónica, moribunda, reativa, hostil, ausente e corrupta. Estes factores e condições são apresentados numa “Zwicky box”, sendo o passo 3 supostamente suportado por uma ferramenta informática.

2.2.4 Sociedade Sueca de Morfologia

Com o auxílio de métodos computacionais, a GMA tem sido usada para estruturar e analisar as relações contidas em problemas complexos, multidimensionais e não quantificáveis. O autor mais prolífico e consistente no uso da GMA tem sido Tom Ritchey [88-96], da Sociedade Sueca de Morfologia, cuja página da internet permite aceder a todas as referências (e possibilidade de descarga) de trabalhos relacionados com o uso de GMA, nas áreas de previsão, engenharia, política, inteligência artificial, modelação, química, sistemas de informação, computação, estudos do futuro, apoio à decisão, investigação operacional, estratégia, cibernética, física, energia nuclear, aeronáutica, arquitetura, segurança e defesa.

O principal cliente dos trabalhos produzidos pela Sociedade Sueca de Morfologia tem sido a *Swedish Defence Research Agency, FOI*. Por consulta do portal desta agência governamental, é possível obter análises de relações entre defesa convencional e políticas de segurança, desenvolvimento sustentável e restrições de recursos, alterações climáticas e degradação ambiental. De acordo com a mesma agência, a GMA é usada com sucesso no apoio à decisão de nível estratégico, para planeamentos a longo prazo, podendo ainda servir para modelar problemas de cariz político e de planeamento, desenvolver cenários e estratégias e analisar estruturas e organizações.

O processo de GMA usado por Tom Ritchey, para o desenvolvimento de laboratórios conceituais, usa duas análises morfológicas independentes mas complementares, sendo cada uma caracterizada por cinco passos, divididos por duas fases, a de análise e a de síntese. A primeira análise morfológica trata cenários ou problemas, encontrando um espaço de soluções. A segunda define respostas estratégicas para as soluções encontradas anteriormente. Qualquer uma das fases envolve as presenças de seis a sete especialistas, sendo ainda normal serem assistidos por um ou dois morfologistas.

Desenho de cenários, fase de análise:

- Identificar as dimensões, parâmetros ou variáveis que melhor definem a essência do problema ou cenário. Não devem ser selecionadas mais de 6 a 7 dimensões, com o mínimo de correlação entre elas;
- Para cada variável, definir um conjunto apropriado de valores discretos ou condições. A fase de análise termina com a construção da matriz morfológica;

Desenho de cenários, fase de síntese:

- Definir a consistência de todos os pares de condições, identificando os que são inconsistentes ou contraditórios;
- Sintetizar um espaço de saída com consistência interna, verificada entre todos os pares de condições. Este passo requer apoio computacional, sendo o *software* usado propriedade da agência governamental FOI, dele resultando um espaço de soluções;
- Rever tudo. Caso o espaço de soluções se revel muito grande ou muito reduzido, rever todas as variáveis, condições e consistência interna.

Desenho de respostas estratégicas. Esta análise complementar depende da agência ou organização que tem como responsabilidade responder aos cenários, sendo dirigida para objetivos particulares.

Fase de análise:

- Identificar as variáveis que podem ser controladas pela agência, com impacto direto nas soluções da análise de cenários;
- Identificar os valores que podem ser assumidos por cada uma das variáveis, desenhando a matriz morfológica de respostas;

Fase de síntese:

- Definir a consistência interna entre a matriz de respostas e o espaço de soluções;
- Para cada conjunto de cenários, definir um conjunto de respostas.

2.2.5 Resumo

Da revisão dos trabalhos, verifica-se que se mantém atualizada a proposta original de Zwicky, observando-se porém algumas diferenças na aplicação da metodologia.

Análise. Obtenção da matriz morfológica.

- Equipas, dependendo da análise: 6 a 8 elementos multidisciplinares ou um especialista. A presença de especialistas em morfologia pretende evitar que após a consistência interna se obtenha um conjunto vazio de soluções, principalmente quando a equipa é multidisciplinar;
- Parâmetros: inferior a 8, não correlacionáveis, enquadrando o problema;
- Características: inferior a dez, cobrindo por completo o parâmetro. Podem ser ou não escalonáveis, residindo aqui a principal diferença entre autores e estudos.

Síntese. Redução dos cenários, por eliminação de inconsistência.

- Utilizando uma matriz de consistência interna, cada característica de um parâmetro é cruzada com todas as características de todos os parâmetros. Caso a equipa (ou indivíduo) decidam que não é possível a existência em simultâneo de duas características, são eliminadas todas as soluções que incluam essas características; requer *software* específico para resolução da matriz de consistência;

Uso das soluções ou cenários

- Utilizando características escalonáveis, são utilizados apenas os limites dentro de cada parâmetro, para definir a situação atual, a desejável e a realizável. Selecionar a situação atual e definir procedimentos para, parâmetro a parâmetro, atingir a situação desejável ou realizável;
- Desenvolver uma nova matriz morfológica, com parâmetros e características destinados a obter respostas para os cenários obtidos. Esta nova matriz passa pelos processos de análise e síntese referidos anteriormente.

2.2.6 Crítica

A análise morfológica permite descobrir novas relações ou configurações, não evidentes caso não se um método estruturado, permitindo ainda identificar e investigar condições fronteiras. Permite ainda encontrar e analisar possíveis soluções para as condições ou cenários traçados anteriormente. Permite sistematizar e investigar separadamente cada uma das condições ou soluções, sem descuidar todas as alternativas. Por outro lado, tem inconvenientes apontados por diversos autores, designadamente:

- Em Buzuku *et al.* [9] é defendido que no GMA as relações entre os vários valores das variáveis são tratadas de forma não quantitativa e enunciadas de forma ambígua, não existindo ainda nenhuma hierarquia quantitativa nas soluções resultantes da fase de síntese. O autor defende que tal problema pode ser ultrapassado usando o DSM em conjunto com o GMA. No entanto, o mesmo autor pouco aborda o problema de atribuir quantidades a conceitos, defendendo apenas que caso tal consiga ser feito então o DSM permite priorizar respostas estratégicas a cenários desenvolvidos pelo GMA. O exemplo apresentado, sobre facilidades de tratamento de águas, permite quantificar e ordenar todas as condições enunciadas.
- Em de Wall *et al.* [20], demasiado estruturada, inibindo o pensamento criativo, resultam demasiadas combinações, não sendo possível ordená-las; é afetada pelo erro de julgamento humano, havendo muitas decisões sem a devida fundamentação.

2.3 CENÁRIOS RELEVANTES PARA EFEITOS DE PROTEÇÃO PORTUÁRIA

2.3.1 Revisão de trabalhos

A catalogação de portos usando todas as suas principais características físicas, económicas e sociais não tem sido utilizada frequentemente, tendo sido encontrado apenas trabalhos relativos a proteção de danos causados por fenómenos da natureza e ordenação de portos por volume de carga ou quantidade de contentores movimentado. Em Kalliopi *et al.* [53], os portos são agrupados por tipologia de infraestruturas, enquanto na relação de portos da *National Geospatial Intelligence Agency*, com 3700 entradas, os portos são ordenados por país, localidade e posição geográfica. As principais características são dimensão, tipo, abrigo, restrições, limites em altura da navegação, profundidades, marés, dimensão máxima da navegação, ancoradouros, áreas de manobra, pilotagem, rebocadores, comunicações, facilidades médicas, facilidades de esgoto sólido e líquido, autoridades.

2.3.2 Aplicação da GMA na construção de cenários

Equipa

Sendo o porto de Lisboa um dos maiores e mais complexos a nível europeu [49], foi observada a sua complexidade para identificar os principais *stakeholders* envolvidos, verificando-se existirem autoridades nacionais, regionais e locais, bem como interesses económicos, ambientais e políticos.

Devido ao objetivo final, proteção portuária contra ataques terroristas a partir de embarcações de superfície e pessoas ou veículos submersos, foram igualmente identificadas as áreas especializadas das forças de segurança ou defesa envolvidas, designadamente operação de veículos autónomos, táticas de patrulha de superfície, operação de mergulhadores, acústica e ótica. O signatário desempenhou o papel de facilitador, tanto para apresentação da GMA como para apoiar a equipa no desenvolvimento da matriz morfológica e dos trabalhos de verificação da consistência interna. A equipa, reunida durante três dias completos, foi constituída por treze elementos com as seguintes especialidades:

Pessoal militar: facilitador e especialista em logística, operações de superfície e sub-superfície, missões de interesse público [64]; especialista em veículos autónomos submarinos; especialista em doutrina NATO em operações navais; especialista em autoridade portuária [3]; especialista militar em mergulho sapador [64]; especialista em acústica; especialista em ciências informáticas; especialista em investigação operacional.

Pessoal não militar: especialista em gestão de projetos; especialista em informática; especialista em investigação operacional; especialista em física; especialista em acústica.

Ferramenta

A ferramenta para desenvolvimento de cenários, verificação de consistência interna e desenvolvimento de respostas foi desenvolvida pelo signatário, estando disponível o respetivo manual de operação e formação. Este manual serviu ainda de base para a formação inicial da equipa. A ferramenta, apelidada de MCAD (Modelação de Cenários e Apoio à Decisão), figura 6, pretende apoiar qualquer trabalho de GMA, para desenvolvimento de cenários e respostas estratégicas, sempre que exista um ambiente de incerteza genuína.



Figura 6 Ferramenta para GMA

Definição de dimensões

Como referido no *World Port Index* [65], os principais portos mundiais são caracterizados por 16 dimensões⁴. Para além destas devem ainda ser consideradas as dimensões sociais e as relativas à

⁴ Tamanho, tipo, abrigo, restrições de entrada por maré, ondulação, gelo ou outro, limites em altura, canais, ancoradouro, dimensão do cais, existência de terminal de combustível, restrições de atracação devido à maré, comprimento máximo de navio, meios de elevação locais e área de manobra.

implantação de um dispositivo de segurança, estranho ao país. Lembra-se aqui que o objetivo do trabalho é a definição de um dispositivo de segurança projetado⁵, que proteja um porto contra ataques terroristas, perpetrados a partir de meios submersos ou pequenas embarcações. A força projetada é originária de países da NATO, cujos costumes, língua e religião podem ou não ser aceites pela população local. Apesar de todas as referências e casos de aplicação do GMA referirem o limite de oito dimensões, o grupo teve liberdade de selecionar inicialmente as consideradas necessárias, tendo em vista a missão de proteção portuária, designadamente:

- Autorização diplomática (*diplomatic clearance*). Sendo a presença da força previamente autorizada pela nação hospedeira, o uso de meios não letais ou letais, a instalação de sensores, o uso de meios de elevação e atracação, o uso de meios não tripulados, o uso de meios de comunicação, uso de vias terrestres de comunicação, trânsito de pessoas em áreas não controladas, aquisição de bens locais e a emissão ativa de sensores tem sempre de ser acordada à parte e caso a caso. Cada país soberano tem diferentes especificidades nesta área, podendo haver acordos entre países que não se aplicam caso se trate de uma força internacional. Esta dimensão afeta as localizações e modos de operação de sensores, bem como modos de operação das equipas de patrulha.
- Ameaça física à integridade do pessoal e equipamento. Apesar de se considerar um ambiente de cooperação a nível político, poderá ser possível a existência de hostilidades contra representantes da força ou contra os seus propósitos, colocando em causa quer a integridade física ou o funcionamento dos sistemas. Esta dimensão afeta a constituição e equipamentos da força projetada, havendo necessidade de defesa contra ataques de agentes locais.
- Aspetos criminais. Não se considerando a existência de um clima de guerra, as ações decorrentes da deteção de um suspeito de terrorismo deverão sempre seguir os trâmites nacionais. Poderão no entanto ser estabelecidos acordos que permitam que os mesmos sejam seguidos de acordo com leis internacionais, desde que os alvos dos ataques terroristas pretendam atingir não nacionais. Esta dimensão afeta a constituição da força, já que poderá ser necessário considerar a necessidade de inclusão de equipas juristas.
- Recolha de informação. Caso seja necessária recolha de informação junto da população, meios e sistemas locais, será necessário incluir na força uma equipa especializada nesta matéria.
- Estado de implementação do *International Ship and Port Facility Security code* [50] (ISPS code). Caso não esteja implementado, será necessário prever uma equipa destinada a este fim, bem como equipamentos de acesso a fontes de informação seguras.
- Existência de controlo nacional sobre o fundo e infraestruturas. Caso o país anfitrião não possua controlo sobre o fundo e infraestruturas, será necessário prever a existência de equipa dedicada ao levantamento destes perigos (minas ou explosivos) quer nos canais de acesso quer nas infraestruturas de suporte à missão.
- Proteção da navegação de superfície. Caso o país anfitrião não garanta o controlo constante dos canais de acesso, será necessário que a equipa o providencie, assegurando uma chegada segura de navios às infraestruturas a proteger. Esta situação transforma o problema de proteção de uma área fixa num problema de proteção conjunta de área fixa mais área móvel.
- Área necessária para implantação logística da força projetada. Alguns portos podem não ter capacidade de alojar uma força desta natureza.

⁵ Apesar de a nação hospedeira suportar diplomaticamente a presença da força, o dispositivo é integralmente fornecido pela NATO

- Apoio da nação hospedeira. A nível de fornecimento local de energia elétrica, alojamento, alimentação, água potável e cuidados de saúde. Afeta a constituição da equipa, quer em termos de pessoal quer em termos de equipamentos.
- Ambiente tático. Dimensão social relativa à forma como a população local encara quer a presença da força NATO quer a motivação terrorista. Dificuldades de linguagem podem tornar-se intransponíveis, bem como ser negada qualquer tipo de colaboração voluntária. Afetará de forma muito significativa a missão de patrulha e de classificação de contactos.
- Condições ambientais. Afeta movimentos próprios e dos terroristas, bem como o desempenho dos sensores, quer ativos quer passivos, quer aéreos quer submersos. Contempla não só factores meteorológicos mas igualmente os de vida animal, poluição, correntes e marés.
- Densidade da navegação. Afeta o problema de monitorização e classificação de contactos, bem como o desempenho de sensores passivos.
- Tipo de ameaça. Ameaça de superfície, submersa e conjunta. Afeta os meios e pessoal a alocar.
- Duração da missão. Envolve problemas de rendição de pessoal, logística sanitária, manutenção de equipamentos e custos.
- Área de interesse. Envolve não só a infraestrutura mas igualmente as áreas fixas e móveis adjacentes, as quais são função das armas usadas pelos terroristas e capacidade de resposta própria. Afeta a quantidade de pessoal e sensores necessários.
- Risco assumido. Probabilidade de sucesso de um ataque terrorista. Afeta a quantidade e qualidade do pessoal e sensores envolvidos.

Discussão sobre dimensões iniciais

Embora em Ritchey [89] se tenham apresentado matrizes morfológicas com dez dimensões, tal número torna impraticável a elaboração da consistência interna em tempo útil. Algumas dimensões contêm igualmente alguma correlação, como as relativas à dimensão da navegação e condições ambientais ou ambiente tático e segurança das forças projetadas. A redução das dimensões e o tratamento de correlações será tratado posteriormente. Verifica-se ainda que pouco relevo foi dado pela equipa às características físicas do porto. No entanto, algumas das dimensões selecionadas dependem dessas características, como a implementação e *security level*⁶ do ISPS code [50], capacidade de suportar uma força, capacidade de alojar um dispositivo, condições ambientais (proteção do mar, correntes e marés), densidade de navegação e área de interesse.

Valores por dimensão

Para cada dimensão é apresentado um resumo da discussão dentro da equipa e a forma como se definiram os valores por dimensão.

- Autorização diplomática. Para além dos valores extremos de “completa” e “nula”, surgem possibilidades combinatórias prevendo todas as possibilidades: sobrevoo, caso se usem veículos aéreos; de uso do espectro eletromagnético, para efeitos de comunicações; controlo remoto de veículos não tripulados; sensores aéreos ativos; abordagem e vistoria de navegação local; detenção de pessoas e bens; livre circulação em terra e mar de cidadãos e veículos; uso de sensores acústicos ativos; uso de terrenos para instalação de plataformas; uso do leito marinho para instalação de plataformas, entre outras autorizações. Esta dimensão pode ainda tornar-se mais complexa devido à presença de forças multinacionais, o que implica que cada país possa

⁶ O ISPS code prevê três níveis de segurança, sendo o nível 1 usado em permanência, o nível 2 estabelecido quando existe risco de ocorrência de um incidente e o nível 3 quando o incidente está eminente.

deter diferentes acordos com o país anfitrião, ou seja, cidadãos de uma nacionalidade podem ter autorização para circular enquanto outros de nacionalidade diferente podem ter a circulação restringida. A solução proposta pelo facilitador e aceite por unanimidade foi o de tornar esta dimensão num pressuposto, ou seja, apenas é aceitável efetuar proteção portuária caso se obtenha o conjunto completo de autorizações diplomáticas para todas as necessidades, independentemente da nacionalidade dos elementos que compuserem a força internacional.

- Ameaça física à integridade do pessoal e equipamento. Para além dos valores extremos de “total” ou “nula”, podem ser consideradas as ameaças ao pessoal em trânsito, aos veículos em patrulha, ao aquartelamento e aos cabos de energia e comunicações, oriundas de terra, mar ou ar. A presença de qualquer tipo de ameaça a qualquer tipo de atividade requer a necessidade de forças e equipamentos adicionais, sendo necessário considerar igualmente todas as combinações possíveis de ameaças e origens. A solução proposta pelo facilitador e aceite por unanimidade foi o de tornar esta dimensão num pressuposto, ou seja, apenas é aceitável efetuar proteção portuária caso a força de proteção portuária não se torne um alvo da população local.
- Aspetos criminais. Das ações de vistoria por parte da força internacional, pode ocorrer a verificação de situações de não conformidade com a legislação local, para além de indícios de tentativa de prática de atos de terrorismo. O grupo de trabalho optou por considerar apenas um valor para esta variável, a de que será o poder local a assumir por completo os aspetos criminais, após a deteção de irregularidades. Esta dimensão passa assim a pressuposto.
- Recolha de informação. A recolha de informação junto da população e dos *media* locais poderá permitir obter indicadores preventivos, tais como movimentação de pessoal suspeito, aquisição de material usado no fabrico de explosivos ou frequência inusitada de cursos de mergulho. O grupo de trabalho optou por considerar que esta dimensão teria apenas uma variável, a de que a força não estaria dedicada à recolha de informação, sendo esta da responsabilidade de outra entidade. Esta dimensão passa assim a pressuposto.
- Estado de implementação do ISPS code. O grupo de trabalho assumiu que o ISPS code deverá estar implementado. Caso o porto não o possua, deverá ser deslocada equipa independente para o pôr em prática. Caso contrário, o ataque terrorista poderá ser perpetrado a partir de qualquer navio de entrada, não estando a força preparada para essa eventualidade. A dimensão passa assim a pressuposto.
- Existência de controlo nacional sobre o fundo e infraestruturas. Caso não exista controlo prévio sobre infraestruturas ou fundo, a força pode encontrar já posicionados qualquer tipo de explosivos. A única forma de o evitar será a força de proteção portuária dispor de tempo suficiente para, através de meios próprios, assegurar a limpeza dos canais de acesso e das infraestruturas. A dimensão passa a pressuposto, onde se assume que o estado anfitrião não assegura a limpeza prévia da área de interesse, sendo necessário que a força de proteção portuária se instale com antecedência para o trabalho de reconhecimento e inativação de engenhos explosivos.
- Proteção da navegação de superfície. O trajeto à superfície, de qualquer plataforma flutuante, entre a entrada do porto e o seu destino, deve ser assegurado. A responsabilidade dessa segurança pode ser da autoridade local, da força de proteção portuária ou combinada. O grupo decidiu que a segurança da navegação deveria ser garantida pela força de proteção portuária, não sendo de considerar qualquer outra situação. Esta dimensão assume-se como pressuposto.
- Área necessária para implantação logística da força projetada. Tendo-se considerado anteriormente como pressuposto a segurança própria da força, esta dimensão perdeu parte da

sua utilidade. A necessidade de concentrar equipamentos e alojamentos deixa de ser premente, pelo que o grupo assumiu que deverá haver sempre capacidade de efetuar a montagem do dispositivo dentro do perímetro portuário.

- Apoio da nação hospedeira. Em dimensões anteriores tinha-se discutido a problemática da nação hospedeira, em termos de autorizações diplomáticas, proteção da força, aspetos criminais, proteção da navegação, implementação do ISPS code. Esta dimensão é relativa à capacidade de localmente se conseguir adquirir consumíveis (alimentação, combustível, medicamentos) e usar energia elétrica, meios de elevação, redes de esgotos, oficinas mecânicas, oficinas de eletricidade, oficinas de eletrónica e água potável. Atualmente, a NATO tem capacidade de garantir uma autonomia absoluta, apesar de com custo muito elevado. O grupo considerou dois valores para esta dimensão: apoio total e nenhum apoio.
- Ambiente tático. O ambiente tático é uma dimensão social, envolvendo de forma separada a proximidade da população local quer com as vontades das forças terroristas quer com a ideologia representada pela NATO. Caso exista simpatia com a causa terrorista, os locais podem permitir a dissimulação, fornecer informações falsas, retardar as ações de vistoria, dificultar o diálogo e efetuar provocações. Caso exista simpatia com a causa NATO, podem fornecer informações verdadeiras, acelerar o processo de vistoria, facilitar o diálogo e a navegação da força de proteção. O grupo considerou os seguintes valores para a dimensão: colaboração com NATO e terroristas, colaboração com NATO, colaboração com terroristas, neutro.
- Condições ambientais. As condições ambientais afetam sensores (inclusive o conjunto sensorial humano) e a dinâmica dos agentes intervenientes, principalmente os submersos. Sendo que um porto é igualmente um abrigo, não são de esperar condições que afetem a navegação de superfície, a não ser em casos muito excecionais, onde pura e simplesmente não há navegação, nem local nem de segurança nem terrorista. Foi decidida a criação de quatro valores para a dimensão ambiental, todas relacionadas com a atividade submersa. A corrente superior a 1.5nó impede a atividade de mergulho sem auxiliares mecânicos bem como a operação de veículos autónomos submersos, a temperatura da água inferior a 10°C impede a permanência humana, com factos de mergulho tradicionais. Considerou-se ainda que o uso de fatos secos carece de treino específico, sendo pouco práticos para uso com correntes fortes. Foram considerados quatro valores para esta dimensão: corrente constante $\geq 1.5\text{nó}$ e temperatura da água $< 10^\circ\text{C}$; corrente constante $< 1.5\text{nó}$ e temperatura da água $> 10^\circ\text{C}$; corrente constante $\geq 1.5\text{nó}$ e temperatura da água $> 10^\circ\text{C}$; corrente constante $< 1.5\text{nó}$ e temperatura da água $< 10^\circ\text{C}$.
- Densidade da navegação de superfície. Foram considerados três valores para esta dimensão: Atividade residual, média e elevada, descrevendo-se o impacto de cada valor:
 - Impacto nos sensores: a navegação de superfície provoca ruído acústico persistente, o que limita a capacidade de distinguir ruídos de mergulhadores através de sonares passivos, e origina ainda bolhas de ar⁷, o que limita significativamente o alcance útil dos sonares ativos; provoca ainda uma zona de sombra considerável para os sensores ativos e passivos aéreos (radar, ótico e infravermelho), onde se podem camuflar embarcações de interesse. As bolhas, ao subirem à superfície, poderão ainda camuflar as bolhas provocadas pelo sistema de respiração autónoma do mergulhador.

⁷ A cavitação nos hélices e casco provoca bolhas de ar e vapor de água, que se mantêm na profundidade em que foram criadas e refletem as ondas acústicas, evitando que estas se reflitam noutros objetos mais distantes da fonte emissora.

- Impacto na tarefa de classificação: com grande densidade de navegação, a necessidade de controlar individualmente toda a que for passível de albergar terroristas leva à necessidade de dispor de um número muito alargado de embarcações de segurança.
- Impacto nas intenções terroristas de mergulho: os danos provocados por embarcações de superfície são letais para o mergulhador. Com navegação de grande porte, torna-se ainda impossível ao mergulhador escapar do cone de sucção do casco e hélices. No caso de mergulhador terrorista dispor de embarcação para o seu lançamento à água, uma grande densidade de navegação é extremamente benéfica, permitindo diversas táticas de camuflagem.
- Tipo de ameaça. Por definição, a ameaça pode usar embarcações de superfície, aparato de mergulho ou minas. Considerou-se ainda que a arma usada pelos terroristas seria sempre do tipo explosivo, sem recorrer a sistemas de propulsão. Definiram-se cinco valores para esta dimensão:
 - Mergulhador isolado ou em grupo, máxima velocidade 1.5nó e autonomia de 2 horas;
 - Mergulhador isolado ou em grupo com propulsão auxiliar, máxima velocidade 10nó e autonomia 4 horas;
 - Navegação de superfície, isolada ou em grupo, com a velocidade limitada pelas condições do mar. Deslocamento e comprimento não definidos;
 - Ataques coordenados com mergulhadores sem propulsão e navegação de superfície;
 - Ataques coordenados com mergulhadores auxiliados por propulsão mecânica e navegação de superfície.
- Duração da missão. Foi considerado excluir da duração da missão a fase de reconhecimento, deslocamento e montagem do dispositivo, tendo sido definidos quatro valores para a dimensão: menor ou igual a uma semana; entre uma semana e um mês; entre um e três meses; entre três e seis meses. Caso a missão tenha uma duração superior a seis meses deverá deixar de se considerar uma força projetada, passando-se a uma situação de força permanente.
- Área de interesse. A área de interesse foi considerada independente da área do porto, sendo função da área a proteger, do raio de explosão das armas terroristas e da capacidade de resposta das forças de segurança. Foram considerados três valores para esta dimensão: 900m² (dimensão de pequena marina); 4km² (porto médio); 400km² (estuário).
- Risco assumido. As linhas guia produzidas pela União Europeia [17] permitem abordar de forma separada consequências em termos de vidas humanas, económicas, ambientais, políticas e sociais. Devido à complexidade inerente a todo o processo de gestão de desastres, considerou-se o risco como sendo apenas a probabilidade de sucesso de um ataque terrorista. Caso se obtenha conhecimento posterior de qual o alvo a proteger, pode voltar-se à atual matriz e incluir-se uma nova dimensão, relacionada com impactos. Os valores considerados para o risco têm uma relação direta com o quantitativo de pessoal a movimentar para proteger o porto, em que um pequeno dispositivo implica um grande risco dos terroristas terem sucesso. Posteriormente, recorrendo a ferramentas que permitam obter os custos do dispositivo necessário, será já possível associar um preço a um determinado risco assumido. Conhecendo-se o alvo e calculando-se as consequências, poderá associar-se o preço do dispositivo de segurança a um custo do sucesso terrorista.

Exemplo: o alvo é um oleoduto que, caso destruído terá consequências ambientais e económicas, com um determinado custo. Face às características do cenário, o dispositivo necessário para garantir a probabilidade virtualmente nula de sucesso por parte dos terroristas tem um determinado preço, que pode inclusive ultrapassar o custo. Munido da ferramenta

adequada, o decisor pode optar por um dispositivo de segurança inferior, desde que se sinta confortável com a probabilidade associada de sucesso por parte dos terroristas. No entanto, toda esta lógica será fortemente abalada caso as consequências compreendam a perda de vidas humanas. Foram considerados três valores para esta dimensão: risco assumido nulo, nenhuma tentativa terrorista pode ter sucesso; risco médio, em que se assume que 10% das tentativas podem ter sucesso; risco elevado, onde se espera anular metade dos ataques terroristas.

Matriz morfológica

Utilizando a ferramenta MCAD, de modelação de cenários, o resultado é visível na figura 7, da qual decorrem 17280 diferentes soluções. As dimensões com apenas um valor, que passaram a pressupostos, não estão incluídas na matriz. Devem no entanto estar presentes em todas as discussões seguintes do grupo, durante a fase de verificação da consistência interna. Para além das dimensões e valores da matriz, foram ainda definidos oito pressupostos, comuns para todas as soluções, designadamente: é garantida autorização diplomática para as tarefas da força; não existe ameaça física à integridade do pessoal e equipamento; os aspetos criminais são da responsabilidade do país anfitrião; a força não se dedicará à recolha de informação; está implementado o ISPS code; é necessário reconhecimento prévio do fundo e infraestruturas; a força assegura a proteção da navegação de superfície; não existem limites de área para a implantação logística da força.

Figura 7 Matriz morfológica

Consistência interna

Face ao número de valores por dimensão, a equipa terá agora de analisar a consistência interna, em 340 situações. As hipóteses dadas à equipa eram de ser ou não ser credível a coexistência de dois valores de duas dimensões distintas, face aos oito pressupostos. Utilizando o painel de carregamento da ferramenta (figura 8), juntamente com a lista de pressupostos, era selecionado o valor 1 quando a maioria do grupo decidia pela consistência e o valor 0 caso contrário. Era ainda registada a não

unanimidade, para acertos posteriores, caso não se chegasse a nenhuma solução consistente. Após a verificação da consistência interna, obtiveram-se 1488 possíveis soluções (figura 9). Destas, 816 consideraram o apoio completo da nação hospedeira, enquanto 40 incluíram o risco nulo ou muito baixo.

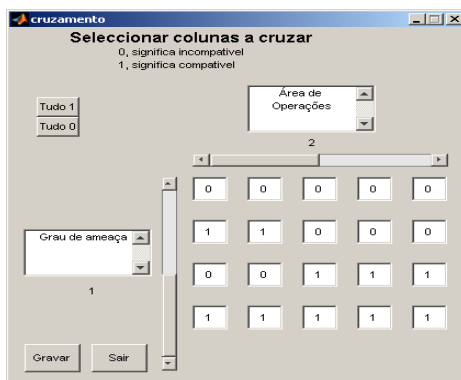


Figura 8. Painel de consistência interna

2.3.3 Seleção de cenários

Apesar da redução significativa de cenários após a verificação de consistência interna, passando de 17280 para 1488, o grupo deverá conseguir uma redução ainda maior escolhendo os mais significativos ou interessantes. Não sendo esta matriz dedicada a futuros expetáveis mas tão-somente à caracterização de ambientes operacionais, não se traçaram soluções desejáveis, atuais e intermédias. A opção foi seleccionar ambientes exigentes e ambientes comuns, chegando-se a cinco diferentes soluções, presentes no quadro 3.

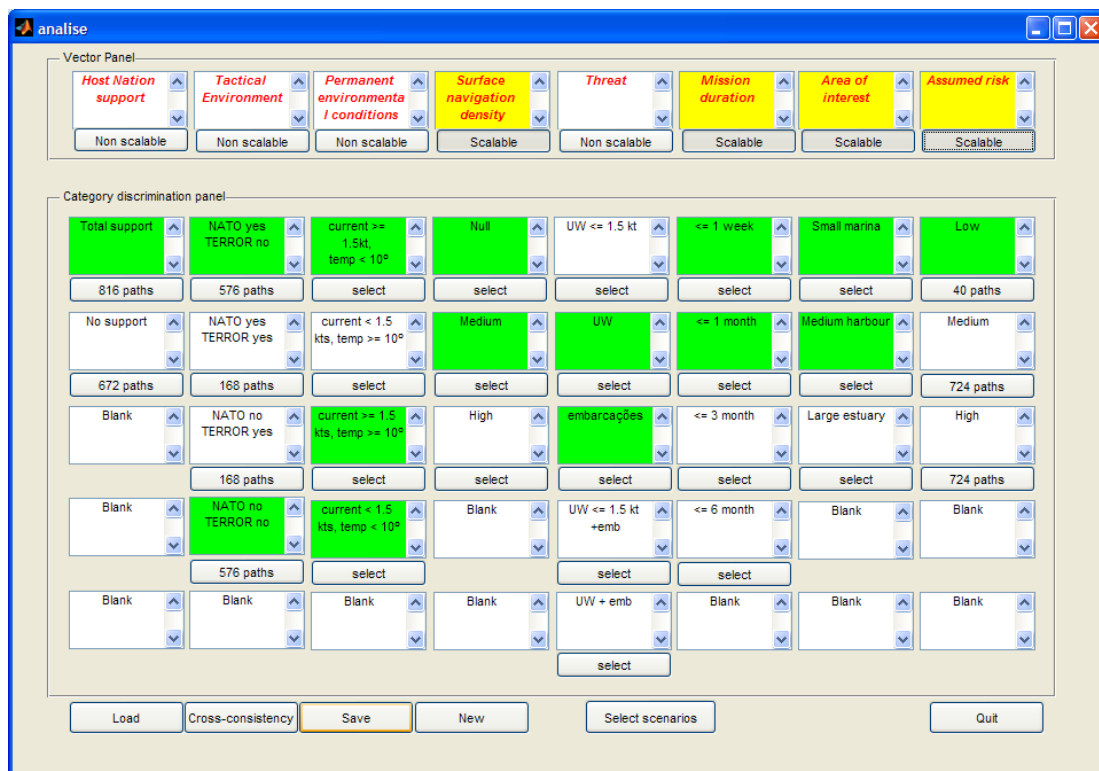


Figura 9. Verificação de consistência interna

Cada solução tem 16 dimensões e um valor por dimensão, sendo que nove das dimensões são idênticas para todas as soluções. Destas nove, oito resultaram de pressupostos e uma da verificação de ser pouco plausível que mergulhadores amadores efetuassem infiltrações em zonas com temperaturas muito baixas ou correntes constantes muito fortes.

Quadro 3. Cenários selecionados

Dimension \	Scenario 1 values	Scenario 2 values	Scenario 3 values	Scenario 4 values	Scenario 5 values
Diplomatic clearance to HPDT	Granted				
Physical threat to HPDT	Null				
Criminal pursuit of suspects	Local authorities				
HUMINT upon detention	Null				
ISPS implemented	Yes				
Precursor operations by HPDT	Yes				
Protection of surface navigation by HPDT	Yes				
Deployable team maximum dimension	NRF size				
Host nation support	Complete	Complete	Complete	Null	Null
Tactical ambient	Against Terrorists will	Against Terrorists will	Against Terrorists will	Sympathy for terrorists will	Sympathy for terrorists will
Environmental conditions	Constant surface current <1,5kt Water temperature > 10°C				
Surface navigation density	Medium	Medium	Maximum	Medium	Maximum
Threat	Only surface	Surface and motorized diver	Only surface	Surface and motorized diver	Surface and motorized diver
Mission duration	>1 week <1 month	>3 months < 6 months	>1 day <1 week	>1 week <1 month	>1 week <1 month
Area of interest	Very large	Medium size	Small size	Medium size	Small size
Assumed risk	Medium	Medium	Low	Medium	Medium

2.3.4 Design Structure Matrix (DSM)

A utilização do método DSM em conjunto com o GMA foi proposta por Buzuku *et al.* [9], tratando de problemas relacionados com a produção de água doce. Outros exemplos da utilização do DSM para analisar interações entre componentes de um sistema podem ser encontrados em Eppinger *et al.* [29], sendo igualmente apresentadas as vantagens deste método. Para o estudo atual, o método DSM permite representar o resultado da consistência interna, como uma matriz triangular (figura 10), tendo as dimensões e valores ordenados por colunas e linhas. A cor vermelha assinala inconsistência e a cor verde consistência. A utilização deste método permite verificar que no cruzamento entre as ameaças e o ambiente existe estrangulamento, sendo este responsável pela eliminação da maioria das soluções iniciais. A cor de cada célula resultou de intensa discussão dentro do grupo, sendo obrigatório o voto de todos os elementos. Caso não se tivesse encontrado nenhuma

solução final, a utilização do método DSM permitiria descobrir a causa do estrangulamento e a redefinição de dimensões e variáveis.

		HNS		tactical				environ				navig			threat					duration				area			risk		
		total	none	NyTn	NyTy	NnTy	NnTn	c<2,t<10	c<2,t>10	c>2,t<10	c>2,t>10	low	medium	high	uw<2	uw	surf	uw<2,surf	uw,surf	<1week	<1month	<3month	<6month	small	medium	large	low	medium	high
HNS	total																												
	none																												
tactical	NyTn																												
	NyTy																												
	NnTy																												
	NnTn																												
environ	c<2,t<10																												
	c<2,t>10																												
	c>2,t<10																												
	c>2,t>10																												
navig	low																												
	medium																												
	high																												
threat	uw<2																												
	uw																												
	surf																												
	uw<2,surf																												
	uw,surf																												
duration	<1week																												
	<1month																												
	<3month																												
	<6month																												
area	small																												
	medium																												
	large																												
risk	low																												
	medium																												
	high																												

Figura 10. Representação da consistência interna usando o DSM

2.3.5 Trabalhos futuros

Cada cenário deverá ser trabalhado individualmente, onde todas as dimensões assumirão o seu valor como pressuposto. Os grupos de trabalho deverão desenvolver novas matrizes morfológicas, com dimensões não presentes atualmente, tais como características da área a proteger, prioridades com a existência de várias áreas em simultâneo, a mobilidade da área a proteger, existência de problemas de interoperabilidade dentro da força, consequências de um ataque com sucesso, pré-posicionamento, patrulhas terrestres, colocação de barreiras físicas e outras. A utilização de um simulador dedicado será essencial para obter um custo para as soluções, como proposto em Harvey *et al.* [44], no contexto da gestão de tráfego aéreo. No entanto, como ressaltado em Yahja [115], ocorre o problema da validação dos resultados da simulação. Devido ao envolvimento de agentes humanos, tal validação deverá recorrer à realização de exercícios reais, usando os mesmos parâmetros do simulador. Esses exercícios reais deverão ainda possibilitar a recolha de dados de

decisões tomadas e critérios usados pelos decisores na sua tomada, para enriquecimento do simulador.

2.4 CÓDIGO DE BOAS PRÁTICAS

2.4.1 Formulação

Tendo a equipa de peritos definido os cenários de interesse, importa agora estabelecer os parâmetros de simulação para encontrar a resposta a dar para cada cenário. Relembrando os parâmetros do problema, estamos perante a preparação de uma força NATO para a defesa de um porto não aliado contra ataques terroristas, perpetrados através de embarcações ou mergulhadores. Este tipo de missão é definido pela aliança NATO RTO [70] como sendo do tipo OOTW (*Operations Other Than War*), apresentando-se a comparação entre estas missões e as convencionais (quadro 4).

Quadro 4. Comparação entre guerra convencional e OOTW

Factor	Convencional	OOTW
<u>Missão</u>		
Estabilidade	Estável	Dinâmico
Foco	Inimigo	Sem oponente tradicional
Comprometimento	Militar	Incerto (político/militar)
<u>Princípios</u>		
Unidade	Do comando	Do propósito
Decisão	Hierárquica	Consenso
Operações	Surpresa, secretismo	Transparente
<u>Informação</u>		
Natureza do problema	Conhecer o desconhecido	Desconhece-se o que é preciso conhecer
Questão chave	Como obter informação	Que informação obter
Foco	Inimigo militar	Factores sociais, militares, políticos, económicos
Conhecimento da situação	Comum ar-terra-mar	Disseminação limitada, complexa
Bases de dados	Muito grandes e estruturadas	Grandes e sem estrutura
<u>Análise</u>		
Unidade	Entidade nível batalhão	Comportamental
Integração	Fácil	Muito difícil
Foco	Militar	Político, social e militar
Abordagem	Análise operacional	Flexível (Seagriff <i>et</i> Lord [100])

Recorrendo ao código de boas práticas da NATO [70], cap. 3, a formulação de um problema de OOTW requer a presença de um grupo multidisciplinar, envolvendo militares, civis e especialistas de investigação operacional, para além de representantes locais (especialistas na história e cultura do país ou países envolvidos). Deve existir um facilitador que consiga levar o grupo a definir todas as questões chave do processo, usando as necessárias ferramentas de formulação. Cuidado especial deve ser tido na delimitação do problema, evitando que situações reais não sejam previstas na formulação. O processo de formulação pode ser resumido pela figura 11, obtendo-se no final uma declaração do problema, uma relação de variáveis independentes, uma relação de medidas de mérito e uma relação de pressupostos e restrições.

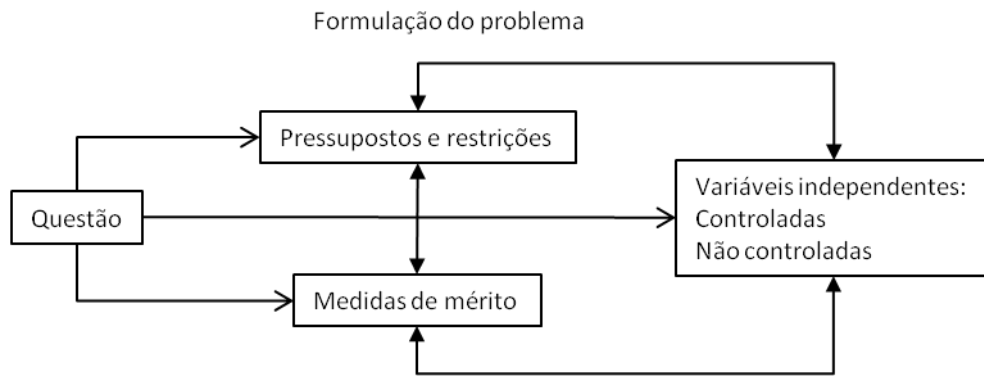


Figura 11. Formulação do problema

2.4.2 Soluções estratégicas

Como descrito em NATO RTO [70] cap. 4, a solução estratégica deve obter o produto da formulação e desenvolver um plano para recolher e analisar dados (incluindo o desenvolvimento de modelos, desenho de instrumentos de recolha e seleção de ferramentas de análise) para compreender as relações entre as variáveis e as medidas de mérito, cenários, agentes humanos e factores organizacionais. As ferramentas de apoio podem ser simples *checklists* ou simuladores de grande complexidade. O simulador é uma instância do modelo, com ênfase na passagem do tempo, facilitando a compreensão das relações entre variáveis e criando dados para análise posterior. Para o desenvolvimento de um plano de estudo, é essencial que sejam definidas medidas de mérito, analisados factores humanos, desenvolvidos cenários, seleccionadas ferramentas de análise operacional para modelação, simulação e análise de dados, bem como analisados os factores de risco e incerteza.

2.4.3 Medidas de mérito

Para operações convencionais, o código de boas práticas identifica cinco níveis de medidas de mérito (ou desempenho, no contexto da Investigação Operacional), designadamente:

- Eficiência política, focadas em aspetos políticos e sociais;
- Eficiência da força, focadas no modo como a força atua e em que grau atinge os seus objetivos;
- Eficiência do sistema de comando e controlo, focadas no impacto deste sistema dentro do contexto operacional;
- Medidas de desempenho, focadas na estrutura interna;
- Parâmetros dimensionais, focados nas propriedades físicas do sistema de comando e controlo.

Para operações do tipo OOTW, as medidas de eficiência política ganham particular realce sobre todas as outras, já que o principal objetivo não será ganhar uma guerra mas sim conseguir estabelecer determinados objetivos políticos. No caso da proteção portuária contra o terrorismo, um ataque terrorista mesmo com reduzido impacto pode destruir a confiança na capacidade da NATO efetuar uma proteção eficaz.

2.4.4 Cenários

De acordo com o código de boas práticas, os cenários consistem em quatro elementos: contexto (situação geopolítica), participantes (intenções, capacidades das forças presentes), ambiente (parâmetros naturais e artificiais) e evolução dos eventos ao longo do tempo. O principal interesse dos cenários é a observação das relações entre variáveis e entre estas e as medidas de mérito.

Para um cenário de planeamento, devem ser definidos determinados elementos, como o período temporal analisado, a área geográfica, a meteorologia, os contextos sociais, económicos, políticos e históricos, objetivos da missão e restrições, nível de ameaça, forças amigas, forças adversárias, forças neutras, atores não combatentes e *media*. Caso se considere um cenário operacional, devem ainda ser considerados detalhes relativos à ameaça, ordens de batalha, táticas, regras de empenhamento, rumos de ação, movimentos, estado final desejado e reservas.

2.4.5 Métodos e ferramentas

De acordo com o código, os métodos e ferramentas podem ser usados em cada uma das seguintes cinco tarefas: geração de dados, recolha de dados, organização de dados, resolução e suporte. São aqui elencadas diversas ferramentas isoladas, cada uma delas resolvendo uma ou duas tarefas (quadro 5). Na data da elaboração do código de boas práticas, não se dispunha de nenhuma ferramenta que garantisse as cinco tarefas. Não é apontada nenhuma solução para representar o comportamento humano, a não ser a dificuldade no desenvolvimento de tais ferramentas.

Quadro 5. Ferramentas por categoria (adaptado de NATO RTO [70])

	Gerar dados	Recolha de dados	Organizar dados	Resolver	Suporte
Operações reais	S				
Pós análise		S	S		
Análise histórica		S	S		
Elicitação de especialistas		S			
Simulação construtiva	S	S	S		
Simulação virtual	S	S	S		
Exercícios	S		S		
Planeamento de experiências	S		S		
Teoria dos jogos			S	S	
Mapas causais			S		
Análise de regressão			S	S	
Análise factorial			S	S	
Redes bayesianas			S	S	
Redes neuronais			S	S	
Pesquisa Heurística				S	
Gestão de projetos					S
Sist. de informação geográfica		S			
Visualização	S				
Bases de dados			S		S

2.4.6 Risco e incerteza

O código descreve o termo risco como a possibilidade de sofrer danos ou perdas. Para a diminuição da incerteza associada ao risco, é sugerida uma aproximação em três fases: identificar as variáveis com maior peso no risco e incerteza; efetuar uma análise de sensibilidade que percorra uma gama provável de valores das variáveis identificadas, verificando de que forma influenciam os resultados; investigar os extremos do espaço de resultados, com maior ênfase no extremo negativo.

A equipa deve igualmente investigar possíveis falhas, procurando soluções para as falhas encontradas.

2.5 ESTUDOS EFETUADOS

2.5.1 Características da ameaça

Em Kudrin *et al.* [59] é proposta uma organização para a defesa anti-terrorista, mostrando a complexidade inerente ao sistema de apoio à decisão quer para a prevenção quer para a reação. Em

Makhutov *et al.* [63] são analisadas diversas modalidades de ataque e abordada a dificuldade da modelação quer de ataques terroristas quer das ações das forças de prevenção. As ações terroristas, ao contrário dos desastres originados em causas naturais, detêm as seguintes características:

- Elevado dinamismo: atacante reage às forças de segurança, aprendendo com os erros;
- Elevada incerteza: o terrorista pode usar diversos métodos e aproximações. No caso em estudo, pode usar embarcações de várias características ou equipamento de mergulho;
- Capacidade do terrorista selecionar o cenário: refere-se não só ao alvo mas igualmente ao instante de ataque, analisando as oportunidades e ao valor do sucesso;
- Características da percepção da ameaça terrorista: a população local tem tendência a reagir a ataques terroristas de forma mais acentuada do que o ditado pelas consequências de um ataque;
- Natureza complexa da ameaça terrorista: podem suceder ataques a alvos secundários apenas para desviar as forças de segurança dos alvos principais;
- Presença de relações entre a ameaça terrorista e a vulnerabilidade do sistema: num desastre natural, o risco é associado à probabilidade de ocorrência do fenómeno, à vulnerabilidade do sistema perante esse tipo de fenómeno e ao dano provocado caso o fenómeno ocorra e provoque estragos,

$$R_c = P_{IV} P_{(NU/IV)} U_{(damage/IV\&NU)} \quad (2.1)$$

em que R_c é o risco de uma emergência tradicional iniciada por um desastre tecnológico ou natural, P_{IV} é a ameaça ao sistema, representada pela probabilidade de ocorrência do desastre, $P_{(NU/IV)}$ é a vulnerabilidade do sistema perante o desastre, expressa pela probabilidade condicional de ocorrência de danos caso suceda o desastre, $U_{(damage/IV\&NU)}$ é o dano causado no sistema, caso ocorra o desastre e provoque danos. Em presença de terroristas, a probabilidade de ocorrer um ataque está ligado à vulnerabilidade do sistema, ou seja, apenas ocorrerá um ataque caso exista uma elevada vulnerabilidade. As ocorrências naturais ignoram a vulnerabilidade dos sistemas, podendo-se considerar independentes.

- Diferentes formas de causar estragos: efeitos eletromagnéticos, usando emissores de ondas eletromagnéticas; ciberterrorismo, diminuindo a capacidade de coordenação e de resposta a ataques físicos; ameaça biológica, para a qual não há capacidade de deteção dos agentes; ameaça química, inclusive a partir de depósitos pertencentes ao sistema alvo; ameaça radiológica, quer através do uso de dispositivos nucleares ou atuando contra facilidades nucleares do sistema alvo; explosivos. Baixo custo, fácil manufatura a partir de produtos locais, grande capacidade de dissuasão, detonador de outros efeitos com maior dano, como nuclear, biológico ou químico.

2.5.2 Modelo matemático

Makhutov *et al.* [63], considerando as características da ameaça, propõem que um modelo matemático desenvolvido para avaliar os vários cenários de ataques terroristas deve obedecer aos seguintes requisitos:

- O modelo deve facilitar avaliações para apoio à decisão em situações envolvendo um elevado nível de incerteza;
- O modelo deve ser multidimensional, isto é, deve considerar a situação quer do ponto de vista do terrorista quer do ponto de vista das forças de segurança. Deve providenciar uma descrição das interações dinâmicas entre os dois lados, cada um guiado pela sua própria estratégia e pelas

ações do adversário. Deve ainda considerar a capacidade do terrorista mudar de alvo, considerando assim a referida ligação entre probabilidade de ataque e vulnerabilidade do sistema. Julga-se que, em aditamento, deveria ser ainda considerada a opção de o terrorista cancelar o ataque, caso não haja alvo alternativo e o atual apresente baixa vulnerabilidade.

- A parte do modelo que caracteriza a capacidade de análise e decisão do terrorista deve considerar os seus objetivos, recursos e potencial tecnológico e humano. Julga-se que deve ainda considerar ataques coordenados usando diferentes capacidade tecnológicas.
- Os blocos do modelo devem poder determinar medidas eficazes para proteção do alvo contra a ameaça terrorista.
- O modelo deve ser dinâmico, descrevendo as variações de parâmetros do alvo, ambiente externo e o espectro e intensidade das ameaças terroristas. Julga-se que deverá ainda incluir a dinâmica do mundo que não seja apenas terroristas e forças de segurança.

Os autores [63] apresentam um esquema gráfico de um modelo baseado em redes bayesianas, com parâmetros obtidos a partir de jogos de guerra jogados por especialistas.

2.6 DESENVOLVIMENTO DE CENÁRIO OPERACIONAL

2.6.1 Factores

Pretende-se identificar factores e analisar o seu impacto no insucesso ou sucesso dos ataques terroristas. Os factores podem ser agrupados da seguinte forma:

- **Factores constantes.** Descrevem as condições imutáveis, ou consideradas como tal, existentes no teatro de operações, tais como as características geomorfológicas e climáticas da área portuária, a caracterização do contexto sociopolítico e a caracterização das infraestruturas críticas mais susceptíveis de serem alvos de ataque. Nesta categoria podem ser incluídos também os fenómenos que, embora variáveis, sejam totalmente previsíveis, tais como as marés.
- **Factores aleatórios.** Descrevem as condições variáveis que se revestem de incerteza susceptível de ser quantificada probabilisticamente, tais como a variação da densidade de navegação ou as condições meteorológicas, e que podem afetar significativamente o desempenho dos recursos de proteção (sensores e efectores). Para simplificar a análise, e evitar a definição de processos estocásticos complexos, podem ser considerados constantes – ou definíveis por patamares constantes – os fenómenos aleatórios cuja variação contínua no tempo se presume ser pouco influente, tais como a velocidade do vento ou das correntes. Nesse caso, em vez de serem considerados valores médios, pode-se optar por considerar quantis de probabilidade representativos de condições especialmente preocupantes.
- **Factores adversariais.** Descrevem as condições exógenas variáveis que se antevê como plausíveis mas cujas probabilidades não são conhecidas. Essencialmente, dizem respeito à caracterização da ameaça: qual o seu tipo, que meios emprega, qual a sua trajetória para o alvo e qual a dinâmica do seu comportamento – por exemplo, como reage face à presença ou à perseguição das forças de segurança.
- **Factores Endógenos.** Descrevem os parâmetros e variáveis que podem ser controlados, constituindo, portanto, variáveis de decisão, susceptíveis de serem (tentativamente) otimizadas. Essencialmente, dizem respeito à caracterização do dispositivo de segurança: quantidade e tipologia dos sensores, a sua localização, dinâmica ou móvel, quantidade e tipologia das embarcações de patrulha, variável ou não, as táticas de atribuição de alvo, perseguição e detenção, treino dos operadores e necessidades logísticas.

2.6.2 Medidas de desempenho

As medidas de desempenho (no sentido habitual considerado em Investigação Operacional) são variáveis dependentes, função dos factores incluídos no modelo. Como já referido, foram consideradas duas medidas:

- Risco: o seu valor é estimado a partir da simulação multiagente, pela percentagem de ataques terroristas com sucesso;
- Custo: o seu valor é calculado analiticamente, tal como descrito no capítulo 5. É função, sobretudo, do dispositivo de segurança instalado e da dinâmica das patrulhas móveis.

2.6.3 Quadro resumo

O GMA será usado para desenvolvimento de cenários operacionais, soluções operacionais e resultados obtidos. O cenário operacional, trabalhado a partir dos cenários estratégicos apresentados no quadro 3, irá definir o problema real, onde existem dados disponíveis e suposições. Enquanto dos factores constantes é selecionado apenas um valor por dimensão, dos aleatórios e adversariais podem ser selecionados diversos valores, devido à incerteza das intenções terroristas e variabilidade horária inerente à atividade portuária. A matriz de respostas operacionais contém todas as dimensões presentes num dispositivo de defesa, bem como os valores admissíveis por variável. A ferramenta que agora se propõe, esquematizada na figura 12, pretende ocupar todas as categorias presentes no quadro 5, fornecendo ao decisor um conjunto de respostas operacionais, associadas a custos (financeiro, pessoal e equipamentos) e riscos (percentagem de tentativas terroristas que obtiveram sucesso) esperados, sendo que a resposta operacional é otimizada para o custo apresentado. Poderemos então criar as perguntas que a presente proposta de ferramenta pretende responder:

- **Dado um cenário, qual a resposta operacional que, perante um determinado custo, oferece o menor risco.**
- **Para um determinado resultado, qual a sua sensibilidade à variação de variáveis adversariais.**

2.7 CENÁRIOS OPERACIONAIS

Uma ferramenta de otimização que recorra a um simulador integrando todas as variáveis presentes num porto terá dificuldade em isolar a causa de determinada alteração no resultado final (percentagem de ataques terroristas com sucesso). Analisando as relações entre pequenos grupos de variáveis, usando um simulador ligeiro, poderá facilitar a compreensão do problema e auxiliar o problema principal, fornecendo-lhe parâmetros já otimizados. Um simulador ligeiro recebe um pequeno conjunto de variáveis aleatórias e adversariais e trabalha com um grupo reduzido de variáveis de decisão. Será assim possível compreender a relação entre variáveis e obter uma adequada análise de sensibilidade. A ferramenta de otimização principal não se preocupará com as relações já conhecidas, reduzindo-se assim o tempo de computação necessário para se encontrar a relação entre custo e risco. No desenvolvimento dos cenários operacionais, em cada dimensão serão apresentados os valores de experimentação (simulador ligeiro) e os valores da ferramenta principal. As dimensões e valores foram resultado da consulta de especialistas da Marinha, em operações de superfície e subsuperfície.

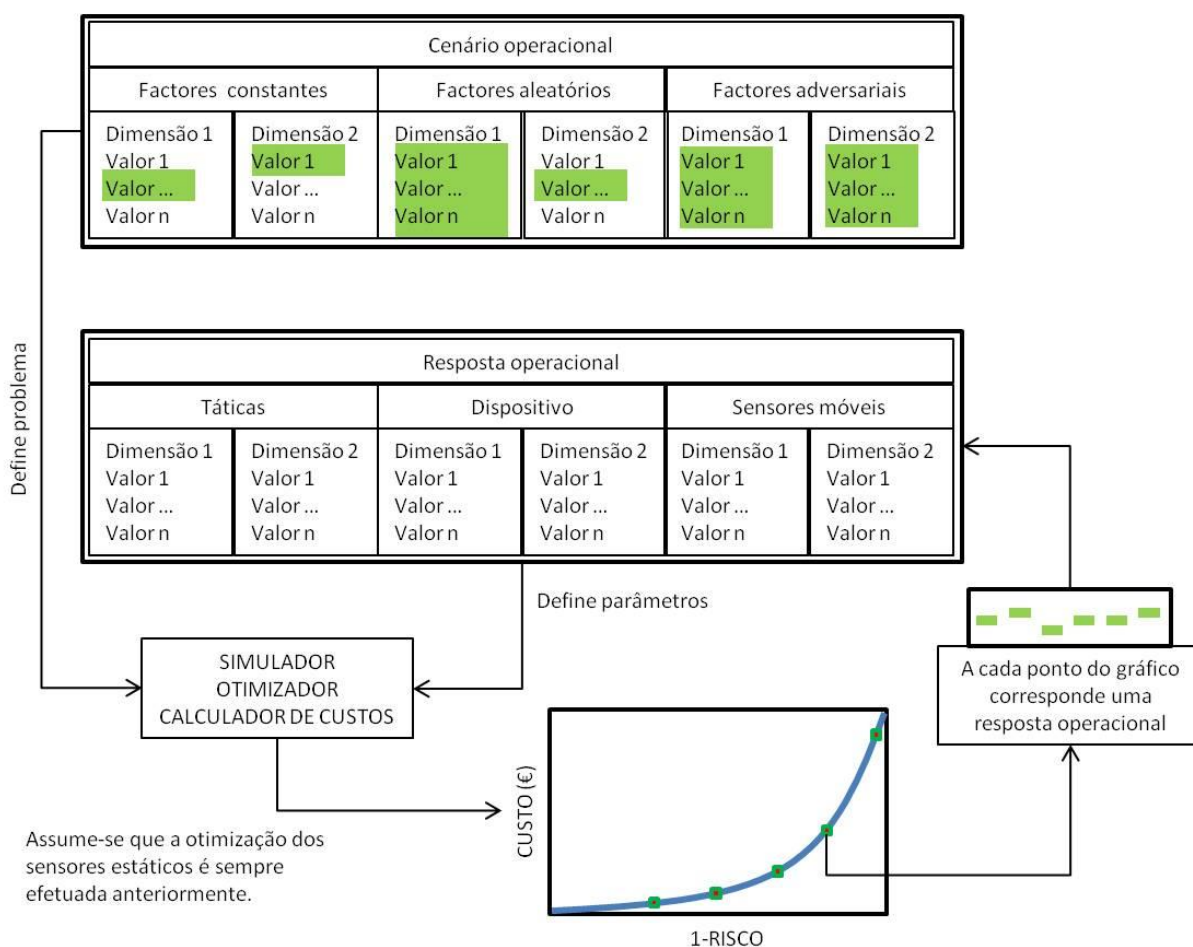


Figura 12. Modelo de apoio à decisão

2.7.1 Configuração geográfica e ambiental

Configuração geográfica para o cenário de experimentação

Como referido anteriormente, havendo vários alvos disponíveis o terrorista escolherá o de maior vulnerabilidade. Ao contrário da guerra convencional, onde se pretende a destruição de pontos estratégicos, o terrorista pretende conseguir sucesso. Esta dimensão procura trazer a problemática de diferentes cenários, cada um deles pondo diferentes problemas ao comando operacional. Caso existam diversas áreas a proteger, cada uma delas terá de garantir a menor vulnerabilidade possível, negando assim as intenções terroristas. Enquanto o simulador do porto completo contempla todas as áreas, o simulador de experimentação terá a preocupação com cada área de forma individual. Os resultados obtidos no simulador de experimentação serão depois introduzidos no simulador completo. O formato de experimentação tem três valores possíveis para a área de interesse ou classificação, não tecendo qualquer pressuposto sobre a área portuária. Considera-se ainda que o fundo é constante e igual a cinco metros.

Canal. A navegação local e terrorista ocorre apenas com um sentido, perpendicular à área crítica. A área de segurança ou classificação tem formato retangular (figura 13 A).

Navio fundeado. A navegação local e terrorista pode vir de qualquer direção. A área de segurança ou classificação tem formato circular (figura 13 B).

Cais. A navegação local e terrorista flui paralelamente à área crítica, sendo ainda de esperar ameaças da margem oposta. A área de segurança ou classificação tem formato semicircular (figura 13 C).

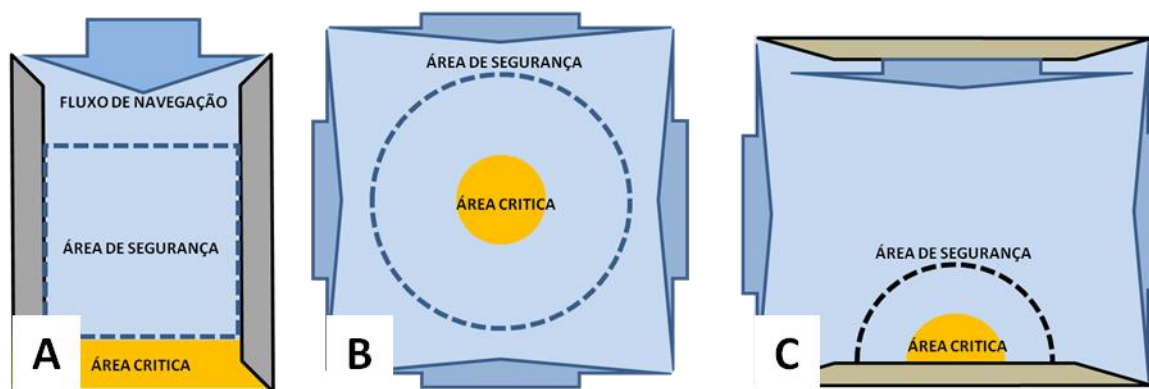


Figura 13. Formatos do cenário

Configuração geográfica para o cenário completo. Topografia e batimetria de acordo com a área real de operações. Composta por polígonos, sendo as conversões para grade efetuadas pela ferramenta. Quantidade e características das áreas de acordo com o terreno real.

Área do cenário de experimentação. A dimensão da área de segurança ou patrulha tem influência na quantidade de meios de segurança envolvidos. De acordo com os cinco cenários definidos no quadro 3, as áreas devem contemplar as variações reais, criando-se os valores de 1, 10, e 100nm² para esta variável.

Área do cenário completo. A decorrente do terreno real.

Condição ambiental do cenário de experimentação. A existência de marés com correntes significativas limita o período temporal de ataques terroristas em mergulho. Para efeitos de experimentação, não existem marés com variação temporal, sendo consideradas correntes constantes. Não existem contactos falsos induzidos por reflexões anómalas, vida animal, detritos e ruído. As condições meteorológicas não afetam os sensores, sendo assumidos os valores de corrente máxima superior a 1.5nó, corrente inexistente ou inferior a 1.5nó

Condição ambiental do cenário completo. De acordo com as características portuárias, variando a corrente de forma horária devido à maré. As condições meteorológicas são obtidas localmente. Existem reflexões anómalas, ruído ambiental, vida animal e detritos, com variações temporais de quantidade, direção e sentido. De acordo com os cenários selecionados no quadro 3, qualquer cenário permitir a operação de mergulhadores, com temperatura da água superior a 10°C e correntes constantes inferiores a 1.5nó.

Colaboração local para ambos os cenários. Para qualquer um dos simuladores, são assumidos dois valores para esta variável:

- Antagonismo com a missão de segurança, desconhecendo linguagem e demorando a entrega de documentos. Demora de vistoria de 10 minutos e possibilidade de fuga à vistoria.
- Colaboracionista. Facilita a vistoria e entrega de documentos. Demora de vistoria de 5 minutos, obedecendo de imediato à ordem de paragem.

Navegação local do cenário experimental. Apenas serão simuladas embarcações idênticas às usadas pelos terroristas. Supõe-se que a geração de contactos segue uma distribuição de *Poisson*, tendo como único parâmetro o intervalo médio entre chegadas à área controlada. Os locais de partida situam-se no extremo da área, sendo o destino variável conforme o formato. A velocidade das embarcações é de 10nó em média. Não havendo obstáculos nas áreas, não há controlo anti-colisão. São assumidas duas categorias de valores: uma corresponde à não existência de navegação e outra à

existência de navegação com intervalos entre chegadas a variar entre 2 e 20 minutos, com diferença de 2 minutos.

Navegação local do cenário completo. De acordo com as características do porto. Inclui locais de saída, atracação, tempo útil de vida, diferentes atividades, diferentes comportamentos, diferentes rumos, diferentes características, atividade de mergulho local. A navegação evita obstáculos e outra navegação. O intervalo entre saídas de cada local varia ao longo do dia.

Apoio da nação para ambos os cenários. O tipo de apoio esperado decorre dos cenários do quadro 3, sendo o valor usado para cálculo do custo total da operação. Assumem-se os valores de ‘completo’ e ‘nulo’.

2.7.2 Configuração dos factores

Táticas de seleção de alvo no cenário experimental. Não há alteração de alvo.

Táticas de seleção de alvo no cenário completo. São consideradas duas categorias: não há alteração de alvo; o terrorista, face à observação do dispositivo de segurança e resultados de ataques anteriores, pode alterar o alvo original.

Táticas de aproximação de superfície no cenário experimental. Aproximação seguindo o caminho direto, ignorando o dispositivo de segurança.

Táticas de aproximação de superfície no cenário completo. São consideradas quatro táticas: Aproximação seguindo o caminho direto, ignorando o dispositivo de segurança; perfil de embarcação de pesca em atividade, até ocorrência de situação favorável, após observação do dispositivo de segurança; perfil de embarcação em trânsito, até chegada ao ponto de maior aproximação da área crítica; acompanhamento de sombra de navio de maior porte, até chegada ao ponto de maior aproximação da área crítica.

Táticas de aproximação de mergulho no cenário experimental. Seguem o padrão estabelecido para mergulhador sem experiência, com vindas à superfície em cada 600 jardas, velocidade de 1 nó. Quando perseguidos, obedecem à ordem de vinda à superfície.

Táticas de aproximação de mergulho no cenário completo. Seguem rumo baseado na experiência do mergulhador, equipamento disponível e correntes locais. O rumo é ajustado com a vinda à superfície do mergulhador, com intervalos obtidos da experiência do mergulhador. A velocidade de aproximação é variável conforme o equipamento usado. Durante o período submerso, a navegação segue um passeio aleatório, simulando a impossibilidade de manter o rumo, devido ao movimento da massa circundante e a falta de orientação visual. Quando perseguidos, tentam evadir-se.

Táticas de cooperação no cenário experimental. Não há cooperação entre terroristas. Cada contacto é gerado individualmente.

Táticas de cooperação no cenário completo. Consideram-se quatro categorias: não há cooperação entre terroristas, sendo cada contacto gerado de forma independente; há cooperação entre terroristas embarcados, com geração de dois contactos de superfície em simultâneo, tendo como destino a mesma área crítica; há cooperação entre terroristas em mergulho, com geração de dois contactos de subsuperfície em simultâneo, tendo como destino a mesma área crítica; há cooperação entre terroristas embarcados e em mergulho, com geração de contactos em simultâneo, tendo como destino a mesma área crítica.

Reação à perseguição no cenário experimental. Mantém rumo e velocidade anterior até ordem de paragem.

Reação à perseguição no cenário completo. Consideram-se três categorias de reação: fuga até entrar em local de atracação; fuga até interrupção de perseguição, tentando novamente a aproximação; mantém rumo e velocidade anterior até ordem de paragem.

Porcentagem de terroristas em ambos os cenários. Em percentagem da densidade de navegação local, com valores entre 0 e 100%. Em termos de simulação, serão usados os valores de 1, 3 e 100%.

2.7.3 Configuração do dispositivo de segurança

Táticas do dispositivo móvel em ambos os cenários. De acordo com os conceitos definidos mais adiante (no capítulo 3):

- Prioridade na seleção do alvo. Por ordem de entrada na área de classificação; mais próxima de embarcação de segurança livre; com menor tempo de chegada à área crítica.
- Prioridade na seleção da embarcação. Mais próxima do alvo selecionado; com menor tempo de interceção seguindo uma aproximação de 2ª ordem; mais próxima da área crítica.
- Trajetória de interceção. De 1ª ordem, direto à posição atual do alvo e velocidade ótima; de 2ª ordem, direto à posição de interceção e velocidade ótima.
- Capacidade de selecionar novo alvo antes do final da tarefa. Apenas aceita um novo alvo após a resolução do atual; Aceita um novo alvo caso este tenha uma maior prioridade.

Dispositivo móvel em ambos os cenários

- Quantidade de plataformas móveis (tripuladas ou não). A variar entre 1 e 10 embarcações.
- Tipo de dispositivo. Áreas de patrulha, 1 ou 2 camadas, linhas de patrulha e posições fixas.
- Limites de patrulha. Camadas: Perímetro exterior variável em intervalos de 500jj a partir da área crítica; perímetro interior coincide com o limite da área crítica. Linhas de patrulha: colocadas a partir do limite da área crítica em intervalos de 500jj. Posições fixas: colocadas uniformemente a partir do limite da área crítica, em intervalos de 500jj.
- Patrulhas. Considerados 4 valores: sem patrulha, patrulha aleatória, patrulha de barreira, outra.
- Velocidade das embarcações. A variar entre 1 e 2 vezes a velocidade da navegação.
- Atitude após terminar tarefa de classificação. Regresso à posição inicial, regresso ao ponto mais próximo da área atribuída, retomando a patrulha, cálculo de novas áreas ou posições, em função das embarcações disponíveis.
- Sensores embarcados. Considera-se que podem ter ou não embarcados um radar, sonar e equipamento auxiliar de visão noturna. O radar, caso embarcado, tem uma cobertura de 2nm para embarcações e 200jj para mergulhadores à superfície. O sonar, caso embarcado, tem uma cobertura de 50jj. Considera-se que as embarcações têm sempre em permanência uma capacidade de deteção pelos meios próprios da guarnição, com alcance de 200jj diurno para mergulhadores à superfície e 2nm para embarcações. Os equipamentos de visão noturna permitem manter os mesmos alcances durante o arco noturno.

Cobertura estática de sensores no cenário experimental. Não são consideradas alterações face às condições meteorológicas. A cobertura completa significa 100% de probabilidade de deteção em toda a área. Considerados quatro valores, designadamente: 'completa superfície', 'completa subsuperfície', 'completa superfície e subsuperfície' e 'nula'.

Cobertura estática de sensores no cenário completo. Cada modelo de sensor tem características próprias e o seu desempenho depende ainda do local onde é instalado, das condições de propagação e das características estática e dinâmicas do alvo. As variáveis de decisão devem indicar quais os modelos de sensor a instalar e os respetivos locais de instalação.

2.7.4 Quadro resumo

O cenário operacional, para além das dimensões previstas nos cenários do quadro 3, apresenta dimensões propícias ao desenvolvimento de respostas estratégicas. O cenário de experimentação, substitui medidas reais por medidas artificiais, propícias para a aplicação em simulador ligeiro. A dimensão “Navegação” prevê a artificialidade de vários valores para intervalos de chegada de embarcações, de forma a permitir que o experimentador otimize o resultado operacional para cada um dos intervalos. Na adaptação ao mundo real, o dispositivo ou táticas terão de ser adaptadas ao longo do dia, conforme se forem observando diversos intervalos médios entre chegadas consecutivas. As lições aprendidas através deste simulador ligeiro serão posteriormente integradas como parâmetros do simulador completo.

Quadro 6. Cenário experimental e completo.

CENÁRIO OPERACIONAL EXPERIMENTAL (a amarelo, um conjunto de 20 valores de configuração)												
Formato	Área (nm2)	Ambiente	Cobertura superfície subsuperfície	Colaboração	Navegação	Apoio	Táticas seleção alvo	Táticas aproximação superfície	Táticas aproximação mergulho	Táticas cooperação	Reação	Porcentagem terroristas
Canal	1	<1.5nó	100/0	Antag	0	Comp	Nulo	Direto	Direto	Nula	Fuga	1%
Fund	10	>1.5nó	0/100	Colab	1	Nulo					Nula	3%
Cais	100		100/100		...							100%
			0/0		20							
CENÁRIO OPERACIONAL COMPLETO												
Real	Real	Real	Real	Antag	Real	Comp	Nulo	Direto	Real	Nula	Fuga	1%
				Colab		Nulo	Otimiz	Ativid		Super	Reataq	3%
								Trâns		Merg	Nula	100%
								Sombra		Total		

Quadro 7. Resposta operacional experimental e conjunta

RESPOSTA OPERACIONAL EXPERIMENTAL E COMPLETA										
Prioridade seleção alvo	Prioridade seleção embarcação	Trajelória interceção	Interrupção de tarefa	Quantidade de embarcações	Tipo de dispositivo	Limites de patrulha	Patrulha	Velocidade extra	Ação após tarefa	Sensores (além do visual de 200m)
Ordem de entrada	Mais próxima	1ª ordem	Nunca	1	Áreas 1 camada	Perímetro 500jj área crítica	Sem patrulha	1* velocidade terrorista	Regressa posição inicial	Radar
Mais próxima	Mais rápida	2ª ordem	Possível	2	Áreas 2 camadas	...	Patrulha aleatória	...	Regressa ponto mais próximo da área	Sonar
Hora de saída	Mais longe			3	Linhas 1 linha	Perímetro 20000jj área crítica	Patrulha de barreira	2* velocidade terrorista	Cálculo de novas posições e áreas, face às embarcações disponíveis	IR
				4	Linhas 2 linhas	Perímetro a 250jj e 500jj área crítica	Outra patrulha			Radar, sonar
				5	Posições 1 linha	...				Radar, IR
				...	Posições 2 linhas	Perímetro a 10000jj e 20000jj área crítica				Sonar, IR
				20						Radar, sonar, IR

No quadro da resposta operacional, as dimensões “limites de patrulha” e “velocidade extra” têm valores contínuos. No entanto, para efeitos de experimentação, serão utilizados valores discretos intervalados de 100jj, no caso dos limites e de 0.1 no caso da velocidade extra, que as embarcações de segurança conseguem face às velocidades das embarcações usadas por terroristas.

2.8 MODELO DE COMANDO E CONTROLO USANDO GMA

2.8.1 Introdução

Analisando os vários processos de decisão associados a um dispositivo de segurança (quadro 8), alguns são da responsabilidade do utilizador enquanto outros têm de ser incorporados no simulador, permitindo que este simule a passagem do tempo e decisões associadas sem a intervenção humana.

Quadro 8 Análise dos processos de decisão

TAREFA	DESCRIÇÃO REAL	ANÁLISE DE IMPLEMENTAÇÃO EM SIMULADOR
Definição da missão. Objetivos, dimensão da área, históricos.	Definir e alterar prioridade política, definir e alterar dados empíricos recolhidos a nível de especialistas, definir e alterar limites geográficos e temporais.	Este processo tem obrigatoriamente de se manter associado a operador humano.
Colocação do dispositivo fixo de sensores e aquartelamento	Com base em experiência do utilizador, seleciona e coloca sensores, define necessidade de pessoal e equipamentos.	O simulador dispõe de otimizador de sensores, com base nos existentes na aliança. O simulador dispõe de algoritmos para cálculo do pessoal e equipamento necessário, prescindindo do utilizador para o cálculo do custo das soluções.
Atribuição inicial de tarefas a veículos	A tarefa depende das características da missão, do veículo e dos sensores embarcados.	Previsto no quadro de resposta operacional, como variável de decisão a otimizar.
Cumprimento seguro da tarefa	A tarefa implica que as embarcações se movimentem de modo a evitar colisões entre si, com a linha de costa e encalhes, bem como saibam executar patrulhas, buscas e interceções.	Desenvolvidos algoritmos anti colisão para o simulador completo. O experimentador não prevê esta necessidade, permitindo acelerar o processamento. Foram criados algoritmos para a execução de buscas, patrulhas e interceções.
Transmissão de dados para centro de comando e controlo	A tarefa implica a comunicação sem fios de dados, incluindo imagem.	Simulador pressupõe que esta tarefa é realizada automaticamente, dispondo a força dos equipamentos necessários.
Análise dos dados recolhidos.	A tarefa decorre da natureza dos dados. por sensor e contacto, é analisada a correlação com contactos anteriores, de modo a obter informação sobre comportamentos.	Simulador guarda todos os contactos, etiquetados temporalmente e por sensor, para análise de comportamentos.
Classificação dos contactos, após análise.	A tarefa decorre da existência de grande complexidade de contactos existentes, cujas características podem facilmente ser confundidas com as dos alvos de interesse.	Com base numa rede colocada sobre uma matriz morfológica, representando as diversas atividades presentes, é automatizada a classificação.
Afetação de novas tarefas a veículos	A tarefa decorre da necessidade de aumentar a classificação dos contactos, através da recolha de características em falta, ou da detenção de alvos classificados como terroristas.	Previsto no quadro de resposta operacional, como variável de decisão a otimizar.
Transmissão de instruções para os veículos.	A tarefa implica a comunicação sem fios de novas instruções.	Simulador pressupõe que esta tarefa é realizada automaticamente, dispondo a força dos equipamentos necessários.
Apreensão de pessoas ou objetos	A tarefa implica o uso de meios especiais para a vinda à superfície e recolha de mergulhadores ou objetos.	Simulador pressupõe que esta tarefa é realizada automaticamente, dispondo a autoridade local dos meios necessários.

A sequência das tarefas encontra-se esquematizada na figura 14, integrando dois ciclos, o externo renovando variáveis, o segundo simulando o mundo real.

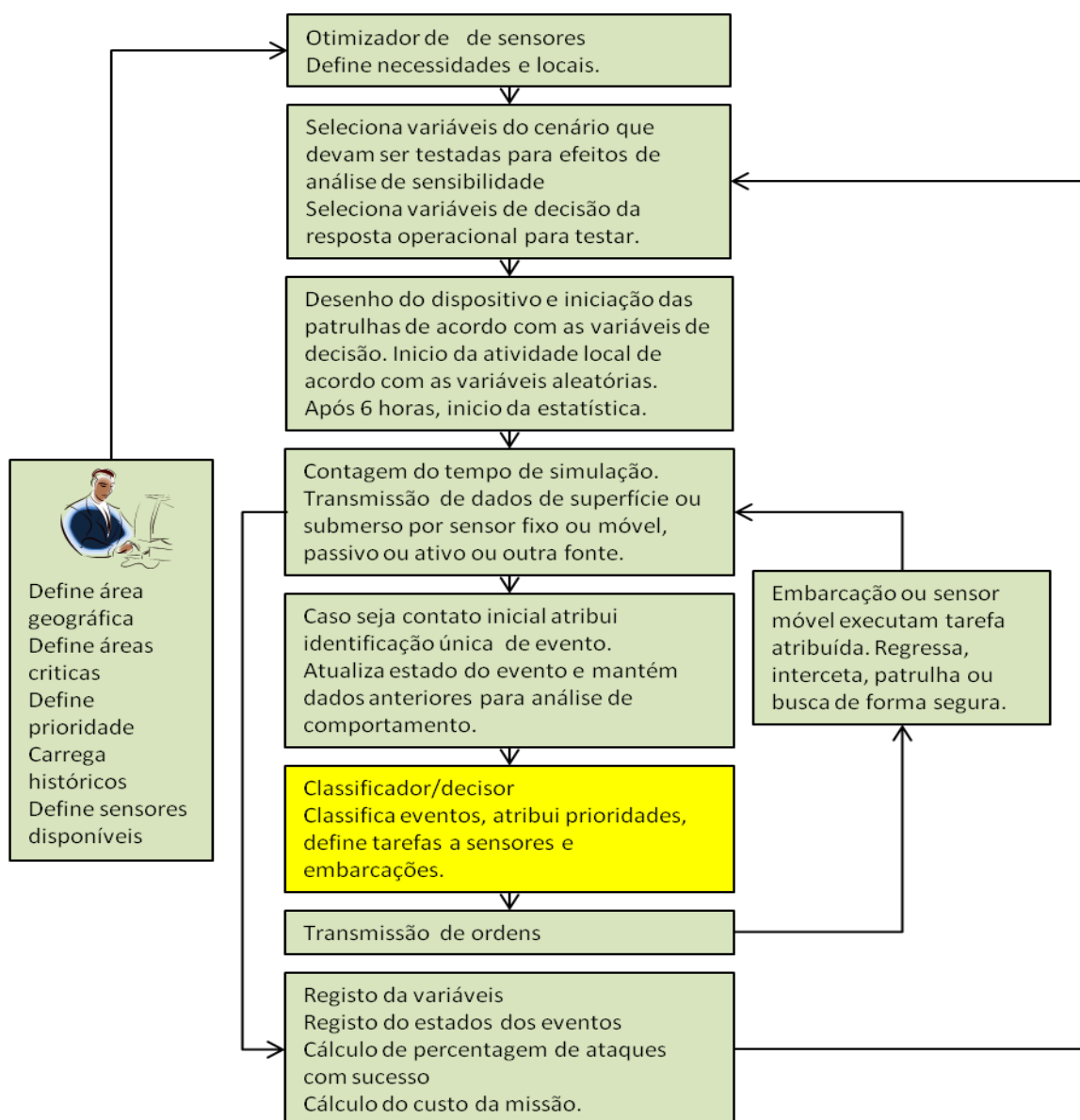


Figura 14. Detalhe da ferramenta de apoio à decisão

O classificador/decisor deve conseguir simular a decisão tomada pelo responsável tático da operação, ao nível de classificação de eventos e atribuição de tarefas a embarcações ou sensores móveis. Enquanto para a atribuição de tarefas a contactos classificados como de interesse está prevista a experimentação de valores da matriz de resposta operacional, já para a classificação de eventos não existe qualquer solução atualmente, sendo necessário recorrer a doutrina existente.

A doutrina da Aliança (*Allied Tactical Publications*, *Allied Experimental Publications* e outras) é constituída por uma série de normas, regras, boas práticas ou lições aprendidas, dedicadas a operações combinadas, conjuntas, aéreas, de superfície, antissubmarinas e outras. Conforme Tritten [109], essas publicações servem de guia para o comando em termos de tomadas de decisão em combate, não se constituindo como ordens. As ordens são expressas pelo comando da força, onde se referem quais as publicações que servirão de guia para uma determinada operação. Os problemas relativos à classificação dos contactos são tratados em diversas publicações, conforme a sua natureza ou ambiente. No entanto, todos eles derivam da experiência obtida com a guerra convencional, no oceano, contra inimigos convencionais e sem a presença de ruído. Os sensores usados são

normalmente um de cada tipo, otimizados para um determinado alvo. As próprias armas são igualmente otimizadas para um determinado objetivo, sendo pouco eficazes em outras situações.

O conseguir-se uma decisão atempada e correta é o objetivo principal do processo de comando e controlo. O conceito militar para este processo, de acordo com a US Navy [110] infere que ao comando deve ser fornecida informação atempada e precisa para que este tome a decisão atempada e correta. Em Diedrichsen [24], Moffat *et al.* [68] e Leifler [61], entre outros, são propostos sistemas de criação de informação e diminuição da dimensão para que a informação disponibilizada ao comando lhe permita a decisão. No entanto, para qualquer autor, a decisão é sempre humana. É o humano que assume a responsabilidade e não o *software* ou modelo matemático. Outra particularidade é o ignorarem ou minimizarem problemas complexos e confusos, como os encontrados num problema de proteção portuária antiterrorismo em países estranhos à origem das forças de segurança. Este capítulo dedica-se à construção de uma rede sobre uma matriz morfológica, em cenários complexos e confusos de proteção portuária antiterrorismo, destinada à tomada de decisão para a classificação de eventos, os quais são iniciados por contactos obtidos por um sensor, evoluem com a análise de comportamentos e correlação com outros sensores, e são finalmente classificados como de interesse ou sem interesse. Esta rede será implementada nos simuladores completo e ligeiro, podendo assim prescindir-se da capacidade humana durante as simulações. Serão analisados históricos de atividades portuárias por agentes locais, interesses políticos, tarefas a atribuir a sensores e embarcações de patrulha, resultados obtidos por esses sensores e comportamentos esperados dos agentes, de modo a construir uma matriz morfológica e um conjunto de soluções por atividade. A matriz de respostas associada à matriz de possíveis atividades permitirá decidir sobre qual o sensor a utilizar para permitir a melhoria da classificação de cada contacto ou evento.

2.8.2 Dimensões e variáveis de classificação

Graus de classificação

- DESC. Atribuído ao surgir indicação sensorial de algo estranho. Inicia um evento;
- NCON. Atribuído quando se identifica o evento como sendo sem interesse;
- NTER. Evento classificado como embarcação ou mergulhador não associado a atividades críticas;
- POSSTER. Atribuído a embarcação ou mergulhador que pode ser usado em atividades críticas;
- PROBTER. Atribuído quando os comportamentos são suspeitos, a vistoria presencial indica fortes indícios de envolvimento com práticas críticas ou na posse de material não autorizado.

Mapa temporal georreferenciado de possibilidades (MTGP)

Para efeitos exemplificativos, os cenários envolvendo áreas portuárias, com ênfase subaquática, podem conter várias ou a totalidade das atividades ou áreas de interesse apresentadas no quadro 9. Cada cenário, com base em dados históricos ou conhecimento de especialistas, permite obter áreas de probabilidade de ocorrência de qualquer uma das referidas atividades, condicionada ao estado da maré. Colocando essa informação em mapa temporal georreferenciado, permite que, a partir da hora da maré e duma posição, se obtenham atividades esperadas ou possíveis. Poderá assim dizer-se que numa determinada posição, a uma determinada área, é possível que ocorram determinadas atividades, pelo que o mapa será designado de mapa de possibilidades.

Vector de criticidades

Cada cenário é normalmente observado por diferentes atores, tendo cada um o seu interesse ou conjunto de interesses particulares.

- Ator focado na proteção ou segurança: principal interesse em atos terroristas ou sabotagem;
- Ator focado na proteção ambiental: principal interesse em detritos e vida animal;
- Ator focado na busca e salvamento: qualquer atividade humana;
- Ator focado no cumprimento das leis: pesca ilegal (mergulho ou usando boias), captura de plantas ilegal, mergulho ilegal, descargas poluentes ilegais;
- Ator focado no tráfego marítimo: qualquer atividade motora;

Um vector de criticidade contém todas as atividades com impacto subaquático e o quão crítica cada atividade é para o utilizador do sistema, numa escala [0,1], sendo o valor 0 atribuído às atividades sem interesse e o 1 às atividades críticas. Este vector será a base de todos os processos de classificação associados ao ciclo de simulação interior.

Características de eventos originados por sensores

Ao centro de comando e controlo chegam dados de sensores que podem conter uma ou várias das seguintes características, as quais podem conter erros não modelados, inerentes ao sensor e à camada de propagação do sinal.

Relativamente a contactos: azimute a partir do sensor, distância a partir do sensor, posição, profundidade, elevação, dimensão, orientação, cor, rumo relativamente ao fundo do mar, velocidade, continuidade (mantém ou não a deteção), identificação visual, contraste de temperatura.

Relativamente a condições locais: corrente local, pluviosidade, temperatura do ar, humidade relativa, temperatura da superfície, altura da maré.

Comportamentos

Face ao conhecimento local, podem ser definidos comportamentos esperados para as atividades portuárias, observadas segundo uma linha temporal e geográfica, designadamente terrorismo, pesca de amêijoas, fotografia e recreio, caça submarina, vida animal subaquática, vida animal anfíbia (pássaros que mergulham), detritos superfície, detritos subaquáticos, bolhas de ar, navegação de superfície em trânsito, recreio, reboque, dragagem, pesca à linha, pesca por arrasto, largada de boias e apoio a mergulhadores. Nem todos os portos têm estas atividades nem estão exauridas todas as atividades possíveis.

Capacidades dos sensores

Em Kessel [55] são listados quer sensores quer plataformas usadas num exercício NATO pelo centro de excelência subaquático NURC (actual CMRE), em La Spezia, Itália. São esperadas as seguintes capacidades:

- Radar: posição, dimensões (rudimentar a fino), continuidade. Interrompido por precipitação. Discriminação da dimensão depende do tipo e modelo. Caso tenha associada a análise doppler, pode obter rumo instantâneo, velocidade instantânea. Caso tenha associada a capacidade de registo e análise, pode obter comportamentos. Sensível à precipitação caso use comprimentos de onda da ordem dos centímetros.
- Sonar ativo omnidirecional: posição, profundidade, dimensões (rudimentar a fino), continuidade. Alcance variável em função da potência, frequência e termoclina (entre outros).

- Sonar ativo direcional: posição, profundidade, dimensões (fino), continuidade. Alcances reduzidos.
- Sonar ativo doppler: rumo instantâneo, velocidade instantânea.
- Sonar feixe: posição, profundidade, dimensões (fino). Alcances muito reduzidos.
- Sonar registo e análise: comportamentos.
- Sonar passivo: Deteta emissões acústicas em locais sem ruído de fundo.
- Barreira magnética: posição sobre a vertical.
- Infra vermelho (IR): temperatura. Interrompido por precipitação e nevoeiro.
- Ótico não auxiliado: posição, dimensões (fino), classificação positiva. Alcance nulo com nevoeiro e período noturno. Muito afetado por precipitação.
- Ótico auxiliado: posição, dimensões (fino), classificação positiva. Alcance nulo com nevoeiro. Muito afetado por precipitação.

Veículos com sensores

Em ambiente portuário, é possível associar plataformas a sensores portáteis, sendo que a operação de veículos não tripulados está sujeita a diversos condicionamentos legais. Indicam-se apenas veículos genéricos, não se mencionando marcas, modelos ou especificações técnicas.

- *Autonomous Air Vehicle Small (AAVS)*: velocidade muito elevada, curta autonomia, sensor ótico. Atua a pedido. Muito sensível a ventos fortes.
- *Autonomous Air Vehicle Medium (AAVM)*: velocidade muito elevada, autonomia média, sensor ótico e IR. Atua a pedido. Muito sensível a ventos fortes.
- *Autonomous Underwater Vehicle (AUV)*: velocidade muito reduzida, grande autonomia, sensor sonar feixe. Opera apenas com correntes inferiores a 1nó. Usado na pesquisa de objetos no fundo.
- *Autonomous Surface Vehicle Small (ASVS)*: velocidade elevada, curta autonomia, sensor ótico. Atua a pedido. Muito sensível a ventos e correntes fortes.
- *Autonomous Surface Vehicle Medium (ASVM)*: velocidade média, grande autonomia, sensor ótico, IR, radar, sonar direcional, média autonomia.
- *Embarcação tripulada (bote)*: velocidade média, sensor ótico não assistido e assistido, sonar direcional, radar, capacidade de classificação por vistoria e detenção.

2.8.3 Matriz morfológica de atividades

Com recurso a especialistas de mergulho, operações de superfície, fiscalização e autoridade portuária, foram definidas, a título exemplificativo, atividades, dimensões e valores por dimensão. Desse trabalho resultou a matriz exemplificativa de atividades, presente no quadro 9, que podem ocorrer num ambiente portuário.

Quadro 9. Matriz de atividades

MATRIZ DE ATIVIDADES											
	Ocorrência	Profundidade	Máxima dimensão	Rumo	Velocidade	Continuidade	Comportamento	Vinda à superfície	Aspetto	Período	Temperatura °C
Atividade humana, fundo ou meia água											
Pesca de amêijoas	MTGP	Fundo	2	Varia	Varia	Sim	Independente da corrente.	Sim, no final	Hum	estofo+ -1h	36
Caça submarina		Fundo	2	Varia	Varia	Sim	Varia, em perseguição em espera	Sim, no final	Hum	estofo+ -1h	36
Merg recreio		Fundo	2	Varia	Varia	Sim	Varia, em torno de local fixo	Contínuo	Hum	estofo+ -1h	36
Atividade humana, superfície											
Mercante	MTGP	Sup.	15-200	Fixo	Fixo	Sim	Trajetos diretos seguindo regras locais	Contínuo	Nav	H24	>50
Pesca trânsito		Sup.	4-15	Fixo	Fixo	Sim	Regras locais rumo aos atracamentos	Contínuo	emb	H24	>50
Pesca arrasto		Sup.	4-15	Fixo	Varia	Sim	Paralelo à margem	Contínuo	emb	H24	>50
Pesca linha		Sup.	4-15	Fixo	Varia	Sim	Ao sabor da corrente ou fundeado	Contínuo	emb	H24	>50
Recreio motor		Sup.	1-15	Varia	Varia	Sim	Varia	Contínuo	emb	H24	>50
Apoio		Sup.	4-15	Varia	Varia	Sim	Seguimento de mercante	Contínuo	emb	H24	>50
Pesca rede		Sup.	4-15	Varia	Varia	Sim	Transversal à margem	Contínuo	emb	H24	>50
Recreio vela remo		Sup.	1-15	Varia	Varia	Sim	Varia	Contínuo	emb	H24	36
Atividade animal											
Vida anfíbia superfície	MTGP	Sup.	0.1-0.5	Varia	Corrente elevada	Não	Segue corrente local com acelerações bruscas	Varia	Ani	H24	36
Vida aquática		Meia água	0.1-5	Varia	Varia	Sim	Varia	Não	Ani	H24	36
Atividade associada à comunidade											
Detritos aquáticos		Meia água	0.1-5	Fixo	Corrente	Sim	Segue corrente local	Não	Det	H24	ambiente
Detritos superfície		Sup.	0.1-5	Fixo	Corrente	Não	Segue corrente local	Contínuo	Det	H24	ambiente
Atividade terrorista											
Terrorismo mergulho	MTGP	0 a 2m	2	Fixo	Fixa com paragens	S, son. N, sup.	Independente da corrente	Sim, cada 600 m	Hum	estofo+ -2h	36
Terrorismo superfície		Sup.	4-15	Fixo	Fixo	Sim	Regras locais rumo área crítica	Contínuo	emb	H24	>50

Para a construção da matriz morfológica de atividades, no quadro 10, aproveitam-se as dimensões, definindo-se uma escala de valores para cada uma delas. Devido às táticas de dissimulação que podem ser seguidas por elementos com intenções terroristas, determinadas atividades podem ocupar diversos valores por dimensão. Por exemplo, o terrorismo de mergulho, com liberdade de movimentação vertical, pode ocupar diversas variáveis na dimensão profundidade.

Quadro 10. Matriz morfológica de atividades

MATRIZ MORFOLÓGICA DE ATIVIDADES									
Profundidade	Tamanho	Rumo	Velocidade	Continuidade	Comportamento	Vinda à superfície	Aspecto	Período	Temperatura
Superfície	<1.5	Fixo	Fixa	Sim sonar	Mantém rumo e velocidade sem se dirigir para área crítica	Contínua	Humano	Contínuo	Ambiente
Fundo	[1.5,2]	Vários	Várias	Sim radar	Mantém rumo e velocidade dirigindo-se para área crítica	Sim, de forma regular	Animal	estofo+ -1h	36°C
Meia água	[2,4]	Igual corrente	Igual corrente	Não radar	Mantém posição em relação à superfície da água (deriva), variando entre posições de forma direta	Sim, variável	Embarcação	estofo+ -2h	>50°C
Coluna água	[4,15]			Não sonar	Mantém posição em relação ao fundo, variando entre posições de forma direta	Não	Navio		
	>15				Vários rumos e velocidades no interior de área		Bolhas de ar		
					Varia de rumo paralelo às margens, mantendo direção mas mudando de sentido				
					Acompanha corrente local				

2.8.4 Utilização da matriz morfológica de atividades

Ao ser detetado um contacto e iniciado um evento, as capacidades inerentes ao sensor que lhe deu origem permitem definir algumas das dimensões da matriz. Essa identificação parcial coloca-nos incerteza relativamente à atividade observada. Sendo o decisor mais sensível ou tendo diferentes preocupações relativamente às diversas atividades desenvolvidas em ambiente portuário, a utilização do vector de criticidades permite excluir as atividades não preocupantes.

Seja V_i o vector de criticidades, com valores no intervalo $[0,1]$ e $i=1,2,...,17$ representando uma atividade definida na matriz de atividades. O valor 0 representa uma atividade sem interesse e o valor 1 uma atividade crítica. Seja $MTGP_{ixy}$ um conjunto de camadas de informação georreferenciada, com a probabilidade de ocorrência de uma determinada atividade i numa determinada posição (x,y) . A informação pode ser apresentada em formato vectorial, com polígonos encerrando áreas de idêntica probabilidade, ou em formato de grade, em que cada célula georreferenciada contém a indicação da probabilidade esperada no seu interior. Seja P_{ijk} a probabilidade de uma célula da matriz morfológica estar contida na atividade i , sendo j a dimensão, de 1 a 10 e k a variável observada, onde o índice k depende da dimensão j . Considere-se que foi recebido no centro de comando e controlo um dado sensorial que informa da observação de um contacto w na posição (x,y) , no instante t , apresentando para a dimensão $j=2$ o valor $k=4$ (tamanho entre 4 a 15 metros). Utilizando t , pode ser obtido automaticamente o estado da maré. Considere-se que nas dimensões j desconhecidas no presente momento t , as probabilidades P_{ijk} assumem o valor 1. Para todas as atividades i , calcula-se a probabilidade e importância da sua ocorrência. Para todo o i , calcula-se PA_{ixy} , a probabilidade de estarmos a assistir à atividade i , no instante t , no local (x,y) , através de:

$$PA_{ixy} = MTGP_{ixy} * \prod_{j=1}^{10} P_{ijk} \quad (2.2)$$

Para obter a importância da ocorrência, O_i , aplicamos o vector de criticidades V , através de:

$$O_i = PA_{ixy} * V_i \quad 1 \leq i \leq 17 \quad (2.3)$$

A obtenção da importância da ocorrência, em cenários pouco complexos, pode ser obtida diretamente pelo responsável do comando e controlo, dispensando o uso da matriz morfológica. Recorre à experiência anterior e ao conhecimento aprofundado das capacidades dos sensores e sistemas de informação para conseguir um correto conhecimento situacional. No entanto, quando em presença de diversos contactos em simultâneo, com a coexistência de diversas atividades, o uso de sistemas auxiliares de apoio à decisão passa a ser fundamental, à custa de se perderem oportunidades de prevenção de incidentes.

2.8.5 Resposta operacional para a matriz de atividades

A incerteza relativamente à atividade observada só consegue ser eliminada com o conhecimento de novas características do contacto, quer dinâmicas quer estáticas. Para o conseguir, o decisor tem ao seu dispor duas opções: aumentar o período de observação ou empenhar novos sensores no esclarecimento da situação. É nesta fase que entra um novo factor, a janela temporal de oportunidade. Na atividade de proteção antiterrorismo, a janela corresponde ao tempo necessário para o suspeito de terrorismo chegar à área crítica. Na atividade de controlo de infrações de pesca, a janela está associada ao período de prática da pesca. No controlo da poluição, com a saída dos detritos da área de interesse. Qualquer ação para diminuição da incerteza tem assim um tempo útil para decorrer. Por outro lado, qualquer sensor tem uma determinada demora para conseguir obter dados adicionais.

Como variáveis independentes temos a janela de oportunidade, as dimensões sobre as quais é necessário esclarecimento e as condições meteorológicas prevalecentes. Como parâmetros, as demoras de cada sensor para a obtenção do conhecimento (função da distância ao contacto e velocidade disponível) e as capacidades desses sensores relativamente às dimensões da informação em falta (quadro 11). Havendo necessidade de sensores para vários eventos em simultâneo, é necessário ordená-los por importância da tarefa. Uma situação especial é a utilização de embarcações de segurança para vistoria, onde as regras de seleção de alvo, trajetória, embarcação e tipo de tarefa constituem variáveis de decisão a serem experimentadas. Neste caso, todos os contactos reúnem idênticas importâncias de ocorrência da atividade terrorista.

Um radar que, mantendo o seguimento do contacto, determine o rumo, velocidade e comportamento, consegue a definição de três dimensões do problema (retirado do quadro 11). Devido ao seu elevado alcance, a demora na obtenção pode ser nula, conseguindo-se assim uma grande utilidade. No entanto, com a existência de precipitação, a sua validade a longas distâncias é nula, sendo necessário optar por outros sensores. Do mesmo modo, sensores óticos sem assistência não têm validade no período noturno. Outros sensores, como os infravermelhos, necessitam de operar a curtas distância do alvo. Podendo diferentes sensores serem associados a diferentes plataformas, define-se de seguida, usando valores estimados, os alcances de sensores para diferentes condições meteorológicas, as capacidades dos mesmos sensores em termos de resolução de dimensões e as características principais das plataformas. No quadro das plataformas (quadro 12), indica-se igualmente a sua disponibilidade. Uma plataforma indisponível significa que ou não existe ou está atribuída a outra tarefa.

Quadro 11. Quadro de capacidade de sensores (valores exemplificativos)

CAPACIDADE DE SENSORES						
Alcances em jardas						
	Visual	Ótico assistido	IR	Radar	Sonar fixo	Sonar casco
Alcance (pequeno alvo)	200	2000	200	2000	200	50
Com chuva	50	50	50	50	200	50
Com nevoeiro	0	0	0	2000	200	50
Arco noturno	0	200	200	2000	200	50
DEFINIÇÃO DE DIMENSÕES						
Profundidade	N	N	N	N	S	S
Dimensão	S	S	N	S	N	S
Rumo	N	N	N	S	S	N
Velocidade	N	N	N	S	S	N
Continuidade	S	S	S	S	S	S
Comportamento	N	N	N	S	S	N
Vinda à superfície	S	S	S	S	S	S
Aspeto	S	S	N	N	N	S
Temperatura	N	N	S	N	N	N

Quadro 12. Quadro de capacidade de plataformas (valores exemplificativos)

PLATAFORMAS					
Velocidade em nós (milhas náutica por hora)					
Autonomia em horas					
	Bote	UAV unmanned air vehicle	USV unmanned surface vehicle	UUV unmanned underwater vehicle	Fixa
Velocidade	15	100	30	2	0
Autonomia	8	1	1	4	24
Disponível	S	S	S	S	S

Para cada missão, o comando define as configurações das plataformas existentes, usando um quadro de carga de plataformas (quadro 13), atualizando a posição atual, tarefa e autonomia restante.

Quadro 13. Configuração de sensores em plataformas

CONFIGURAÇÃO SENSORES EM PLATAFORMAS											
Designação	Tipo plataformas	SENSOR INSTALADO						Posição	Autonomia	Hora	Tarefas atribuídas
		Visual	Ótico assistido	IR	Radar	Sonar fixo	Sonar casco				
UN1	Bote	S	S	S	N	N	S	x,y,z	8	0815:43	-
UN2	Bote	S	S	S	N	N	N	x,y,z	5		121JAN
UN3	Bote	S	S	S	S	N	S	x,y,z	4		122JAN
UN4	UAV	S	N	N	N	N	N	x,y,z	1		-
UN5	USV	S	N	S	N	N	S	x,y,z	1		-
UN6	UUV	N	N	N	N	N	S	x,y,z	4		-
UN7	Fixa	N	S	S	S	N	N	x,y,z	24		121JAN
UN8	Fixa	N	N	N	N	S	N	x,y,z	24		122JAN
UN9	Fixa	S	S	S	S	N	N	x,y,z	24		122JAN

Com a indicação da posição de um contacto com necessidade de esclarecimento e condições meteorológicas, é possível obter-se a distância a todas as plataformas disponíveis e a demora até que o evento seja detetado por cada sensor (deteção essa que pode não acontecer caso o contacto esteja em afastamento e os sensores não alterem a sua posição atual). A partir da informação do quadro 13, considere-se a criação de uma matriz **PC**, contendo *b* linhas relativas a plataformas, com as configurações dos sensores embarcados descritas em *c* colunas. A utilidade (ou capacidade de

esclarecimento) de uma plataforma face a um contacto cujas dimensões j (exemplificadas no quadro 11) são desconhecidas, é obtida a partir de:

- Demora até que o contacto se encontre no interior do alcance dos sensores embarcados (distância entre contacto e plataforma, rumo de interceção tendo em conta a velocidade e rumo do contacto e velocidade da plataforma, tempo até à deteção por sensor embarcado);
- Janela de oportunidade para o contacto;
- Capacidade de esclarecimento passível de ser obtida pelos sensores embarcados, para as dimensões j por esclarecer.

A figura 15 exemplifica a curva de utilidade (capacidade de esclarecimento) para a plataforma, face às suas características de velocidade, autonomia, posição relativa ao contacto, janela de oportunidade e características dos sensores embarcados. Na escala usada para a utilidade, cada unidade representa uma dimensão esclarecida com a aproximação do sensor ao contacto. Tendo sido definidas 9 dimensões para cada contacto (quadro 11), o valor máximo da utilidade da plataforma é de 9. A escala tempo é iniciada no instante atual, tomando os valores mais adequados face às velocidades quer dos contactos quer das plataformas.

Obtendo-se e comparando as curvas de utilidade para todas as plataformas disponíveis, pode-se decidir sobre a resposta operacional a dar face à necessidade de esclarecimento da situação (qual a plataforma a deslocar). Este problema aumenta de complexidade caso se queira ainda otimizar a configuração de sensores por plataforma, sendo necessário desenhar um simulador de experimentação específico para este estudo.

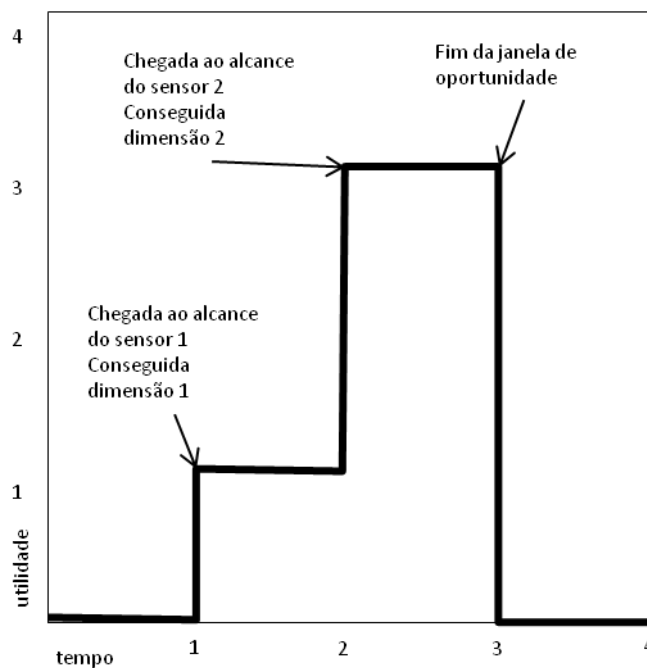


Figura 15. Curva de utilidade por plataforma

2.8.6 Exemplo de aplicação do modelo de comando e controlo

Criação de cenário experimental

Seguindo o quadro 6, o cenário tem um formato canal (figura 16), área da ordem das 10nm², ambiente inferior a 1.5nó, colaboracionista, apoio nulo e reação nula.

A área crítica ocupa toda a largura do canal. Não existem correntes locais, boa visibilidade, arco diurno. Não existem dados históricos para a construção do mapa temporal georreferenciado de possibilidades (MTGP), pelo que todas as atividades do quadro 9 podem ocorrer dentro do porto,

$$MTGP_{ixyz} = 1 \quad (2.4)$$

onde x,y,z são coordenadas de pontos no interior do cenário e $i=1,2,...,17$ representa uma atividade.

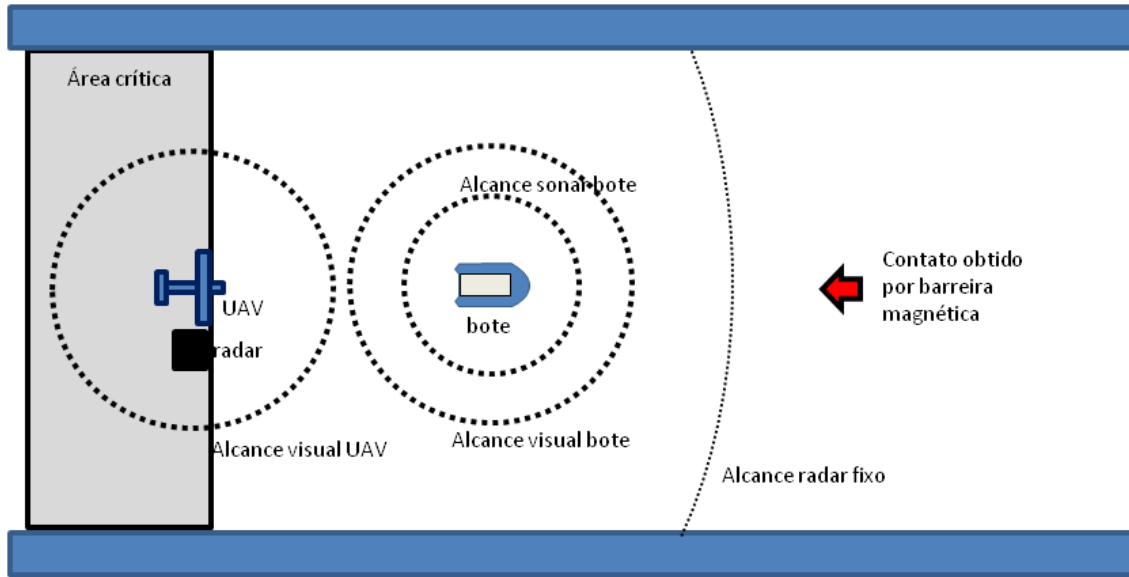


Figura 16. Cenário e posicionamento inicial de sensores

A seleção política de criticidades dita como críticas as atividades terroristas por mergulho e embarcação de superfície, ou seja:

$$V_2 = V_{17} = 1, V_i = 0, i = 1, 3, \dots, 16 \quad (2.5)$$

O cenário prevê um UAV, com velocidade de 100nó, autonomia de 1 hora, posicionado no centro da face leste da área crítica (considerando o Norte orientado com o topo da figura 16), com sensor visual; uma plataforma fixa, posicionada no centro da face leste da área crítica, equipada com sensor visual, IR e radar; um bote não tripulado, com velocidade de 12nó, posicionado a 1000jj da área crítica, no centro do canal, com sensor visual, IR e sonar direcional; uma barreira magnética de fundo, colocada perpendicularmente ao canal, a 2500jj da área crítica.

Os sensores disponíveis reúnem as seguintes características:

- Sonar direcional: alcance de 50jj (probabilidade de deteção 100%);
- Radar: alcance de 2000jj (probabilidade de deteção 100%);
- Visual e IR: alcance de 200jj (probabilidade de deteção 100%).

Geração de evento e definição da atividade associada

Considere-se um contacto, detetado por barreira magnética à superfície, distância de 2500j à área crítica, rumando a 270º, velocidade 1nó. É-lhe atribuída a identificação de evento 001JAN16. Face aos dados disponíveis, é possível obter algumas probabilidades associadas à matriz do quadro 10, nas dimensões profundidade, rumo, velocidade e vinda à superfície. A matriz P contempla 3 índices, (P_{ijk}), sendo o i relativo à atividade, j relativo à dimensão e k o valor dentro da dimensão.

Dimensão Profundidade ($j=1$, valor superfície)

O contato foi observado à superfície, pelo que não pertencerá a atividades que se desenrolam exclusivamente no fundo ($j=1$, $k=2$) nem a meia água ($j=1$, $k=3$):

$$P_{i,1,1} = 1; P_{i,1,2} = 0; P_{i,1,3} = 0; P_{i,1,4} = 1 \quad \forall i \quad (2.6)$$

Dimensão Tamanho ($j=2$, valor não definido)

Não havendo qualquer informação sobre o tamanho, a probabilidade de o contato pertencer a uma qualquer atividade não é influenciada por esta dimensão.

Dimensão Rumo ($j=3$, valor diferente da corrente)

Observou-se que o rumo é diferente do da corrente local (inexistente), não se podendo ainda saber se é fixo ou variável, pelo que:

$$P_{i,3,1} = 1; P_{i,3,2} = 1; P_{i,3,3} = 0 \quad \forall i \quad (2.7)$$

Dimensão Velocidade ($j=4$, valor diferente da corrente)

Observou-se que a velocidade não é idêntica à da corrente local (inexistente), não se podendo ainda saber se é fixa ou variável, pelo que:

$$P_{i,4,1} = 1; P_{i,4,2} = 1; P_{i,4,3} = 0 \quad \forall i \quad (2.8)$$

Dimensão Vinda à superfície ($j=7$, valor superfície)

Observou-se o contato à superfície, nada garantindo que aí se mantenha, pelo que:

$$P_{i,7,1} = 1; P_{i,7,2} = 1; P_{i,7,3} = 1; P_{i,7,4} = 0 \quad \forall i \quad (2.9)$$

Aplicando a equação (2.2) sobre os exemplos do quadro 9, poderemos eliminar algumas atividades, conforme quadro 14.

Quadro 14. Atividades possíveis do evento 001JAN16

ATIVIDADES POSSÍVEIS					
Pesca ameijoas	N	Vida anfíbia superfície	N	Pesca linha	S
Terrorismo mergulho	S	Vida aquática	N	Pesca arrasto	S
Caça submarina	N	Recreio manual	S	Pesca rede	S
Mergulho recreio	N	Recreio motor	S	Apoio	S
Detritos aquáticos	N	Mercante	S	Terrorismo direto	S
Detritos superfície	N	Pesca trânsito	S	Esteiras	N

Para a elaboração do quadro 14 tome-se como exemplo a atividade $i=1$, pesca de amêijoas. Usando a matriz de atividades (quadro 9) e a matriz morfológica (quadro 10), esta atividade apenas ocorre

caso $P_{1,1,2}=1$, $P_{1,2,2}=1$, $P_{1,3,2}=1$, $P_{1,4,2}=1$, $P_{1,5,1}=1$, $P_{1,6,4}=1$, $P_{1,7,4}=1$, $P_{1,8,1}=1$, $P_{1,8,2}=1$, $P_{1,9,2}=1$. Como $P_{1,1,2}=0$, o contacto observado tem uma probabilidade residual de praticar a pesca manual da amêijoa.

De acordo com a equação (2.3), a aplicação do vector de criticidades indica como críticas as atividades de terrorismo de mergulho e terrorismo direto de superfície, as quais são possíveis de atribuir ao evento 001JAN16. As capacidades de esclarecimentos de cada sensor encontram-se presentes no quadro 11, sendo que as dimensões com capacidade de clarificação do evento são a dimensão, continuidade, comportamento, aspeto, vinda à superfície e temperatura. As dimensões período e autonomia não têm capacidade explicativa no presente cenário.

Cálculo da utilidade das plataformas

Para o cálculo da utilidade (capacidade de esclarecimento) das plataformas, na classificação de eventos, são usadas as suas características dinâmicas e estáticas, características dos sensores instalados, dimensões a resolver e janela de oportunidade. Alguns sensores resolvem a dimensão logo que alcançam o evento (temperatura, profundidade, tamanho, posição), outros demoram um curto período da ordem dos segundos (rumo e velocidade) enquanto outros demoram minutos ou horas (continuidade, comportamento, vinda à superfície, autonomia).

Utilidade do Bote para melhorar o conhecimento sobre o evento 001JAN16, posicionado a 1000jj da área crítica, velocidade disponível 12nó, com sensor visual e sonar.

- Tempo para interseção visual: $(1500jj-200jj)/((12nó+1nó)*2000jj)=180seg$;
- Dimensões resolvidas de imediato (se na superfície): tamanho, aspeto, temperatura;
- Dimensões resolvidas em dez minutos: comportamento.
- Tempo para interseção sonar: $(1500jj-50jj)/((12nó+1nó)*2000jj)=201seg$;
- Dimensões resolvidas de imediato (se submerso): tamanho, aspeto.

Utilidade do UAV, posicionado sobre a área crítica, velocidade disponível 100 nós, com sensor visual.

- Tempo para interseção visual: $(2500jj-200jj)/((100nó+1nó)*2000jj)=41seg$;
- Dimensões resolvidas de imediato (se na superfície): tamanho, aspeto, temperatura;
- Dimensões resolvidas em dez minutos (se na superfície): comportamento.
- Dimensões resolvidas em dez minutos (se submerso): vinda à superfície.

Utilidade Radar, posicionado sobre a área crítica.

- Tempo para interseção radar: $(2500jj-2000jj)/(1nó*2000jj)=900seg$.
- Dimensões resolvidas de imediato (se na superfície): tamanho;
- Dimensões resolvidas em dez minutos (se na superfície): comportamento.
- Dimensões resolvidas em dez minutos: vinda à superfície.

Cálculo da janela de oportunidade

A tarefa de classificação por sensores móveis e fixos pretende clarificar um evento desde DESC até ao nível de POSSTER. A classificação de PROBTER só pode ser obtida por vistoria presencial, através de uma embarcação tripulada. Considera-se assim que a janela de oportunidade tem início com o instante de criação do evento e termina no instante a partir do qual o evento consegue chegar à área crítica sem ser intercetado para classificação. Este instante final depende assim da posição e características dinâmicas da plataforma que originou o evento, das condições ambientais, da posição e características dinâmicas das embarcações de patrulha, da atividade destas (podem estar empenhadas noutras tarefas e não se encontrarem disponíveis para vistoria), da capacidade de cálculo de rumo de intercepção de 2ª ordem e do polígono que delimita a área crítica.

Para facilitar o exemplo, a embarcação de vistoria encontra-se atracada no centro da face leste da área crítica, pelo que o final da janela de oportunidade coincide com a previsão de chegada do contacto a esta área.

Início da janela de oportunidade: $t=1$;

Final da janela de oportunidade: $t=4500\text{seg}$;

A figura 17 representa a utilidade de cada plataforma, em função do tempo, onde todas conseguem esclarecer a situação dentro da janela de oportunidade (1-4000seg). A plataforma de superfície, dotada de sonar, consegue classificar de imediato a atividade submersa. As restantes plataformas precisam de analisar e correlacionar contactos obtidos durante um largo período para obter mais conhecimento na coluna de água. Cada incremento na escala da utilidade corresponde a uma dimensão esclarecida.

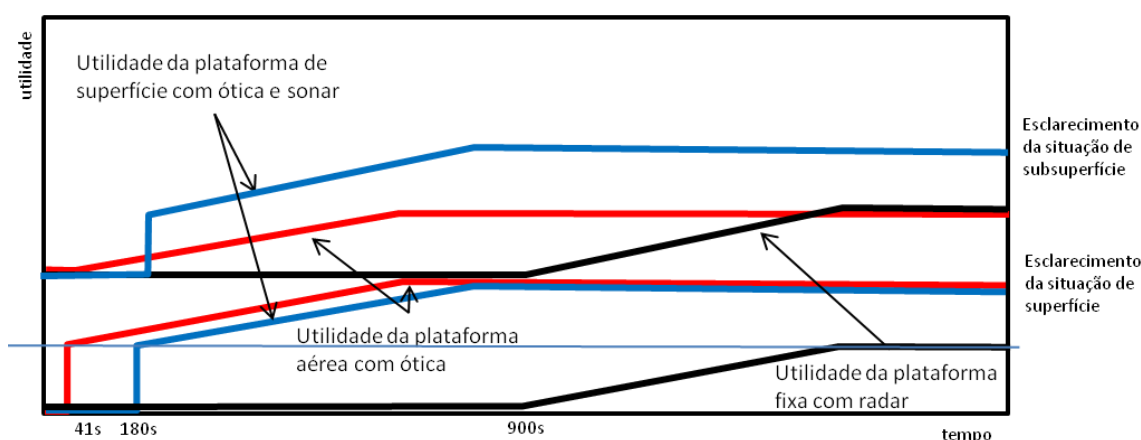


Figura 17. Evento 001, curva de utilidade das plataformas disponíveis

Geração de eventos adicionais

Para obtenção das curvas de utilidade da mesma plataforma para diversos eventos a necessitar de esclarecimento, é necessário que ocorram em simultâneo diversos eventos, situação normal em cenários congestionados. Um contacto, detetado por barreira magnética à superfície, distância de 2500jj à área crítica, rumando a 270º, velocidade 10nó. É-lhe atribuída a identificação de evento 002JAN16. Seguindo o mesmo tratamento dado ao evento 001JAN16, é obtido o quadro 15 com atividades possíveis. De notar que o terrorismo em mergulho sem apoio mecânico deixou de ser possível, devido à velocidade observada. A figura 18 apresenta a curva de utilidade para o evento.

Quadro 15. Atividades possíveis do evento 002JAN16

ATIVIDADES POSSÍVEIS					
Pesca ameijoia	N	Vida anfíbia superfície	N	Pesca linha	S
Terrorismo mergulho	N	Vida aquática	N	Pesca arrasto	S
Caça submarina	N	Recreio manual	N	Pesca rede	S
Mergulho recreio	N	Recreio motor	S	Apoio	S
Detritos aquáticos	N	Mercante	S	Terrorismo direto	S
Detritos superfície	N	Pesca trânsito	S	Esteiras	N

Utilidade do Bote

- Tempo para interseção visual: $(1500\text{jj}-200\text{jj})/((12\text{nó}+10\text{nó})*2000\text{jj})=106\text{seg}$;

- Dimensões resolvidas de imediato: tamanho, aspeto;
- Dimensões resolvidas em dez minutos: comportamento.

Utilidade do UAV

- Tempo para interseção visual: $(2500jj-200jj)/((100nó + 10nó) * 2000jj) = 38\text{seg}$;
- Dimensões resolvidas de imediato: tamanho, aspeto;
- Dimensões resolvidas em dez minutos: comportamento.

Utilidade Radar, posicionado sobre a área crítica.

- Tempo para interseção radar: $(2500jj-2000jj)/(10nó * 2000jj) = 90\text{seg}$.
- Dimensões resolvidas de imediato: tamanho;
- Dimensões resolvidas em dez minutos: comportamento.

Janela de oportunidade.

$$[1,3600 * 2500 / (10 * 2000)] \Leftrightarrow [1,450]$$

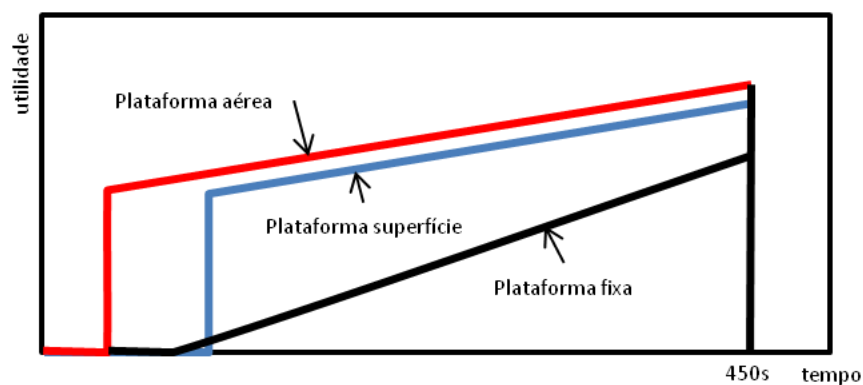


Figura 18. Evento 002, curva de utilidade das plataformas disponíveis

Com a ocorrência em simultâneo dos eventos 001JAN06 e 002JAN06, obtemos o quadro 16:

Quadro 16. Alocação de sensores a eventos

Evento	Embarcação	Utilidade da plataforma	
		Aéreo	Fixa
001	1	1	1
002	0.7	0.8	0.5

Considerando que os sensores usados pelas plataformas móveis apenas permitem o seguimento de um único evento, pode considerar-se que a otimização da solução passa pela resolução de um problema de alocação. A plataforma fixa pode ser atribuída a todos os eventos, pelo que devem ser colocadas artificialmente colunas de plataforma fixa para garantir que a matriz de utilidades seja quadrada. No entanto, logo que seja aumentada a classificação do contacto e movimentada a embarcação tripulada, as janelas de oportunidade terão de ser novamente recalculadas, o mesmo sucedendo com o aparecimento de novo evento. Por outro lado, as embarcações ou mergulhadores originários dos eventos não mantêm nem o rumo nem a velocidade, pelo que em todos os instantes teria de ser resolvido um problema de alocação. A alternativa será o uso de regras simples, à semelhança do praticado com a atribuição de tarefas a embarcações de vistoria, quando se tem já a certeza de quais os eventos que necessitam desta ação de esclarecimento de intenções.

Para evitar a necessidade de resolução de um problema de alocação em cada instante, serão usadas as seguintes regras:

- Interromper uma tarefa atribuída a plataformas móveis caso seja necessário, já que se mantém sempre a utilidade das plataformas fixas;
- Apenas usar plataformas móveis quando as fixas não apresentarem utilidade completa;
- Apenas usar plataformas móveis com sonar quando for necessário esclarecer atividades subaquáticas.

Na figura 19 são representados eventos com cor, a qual corresponderá a uma necessidade específica de um sensor para determinar a sua atividade. Usando prioritariamente os sensores com maior velocidade, ficará facilitada a seleção do alvo para a plataforma tripulada.

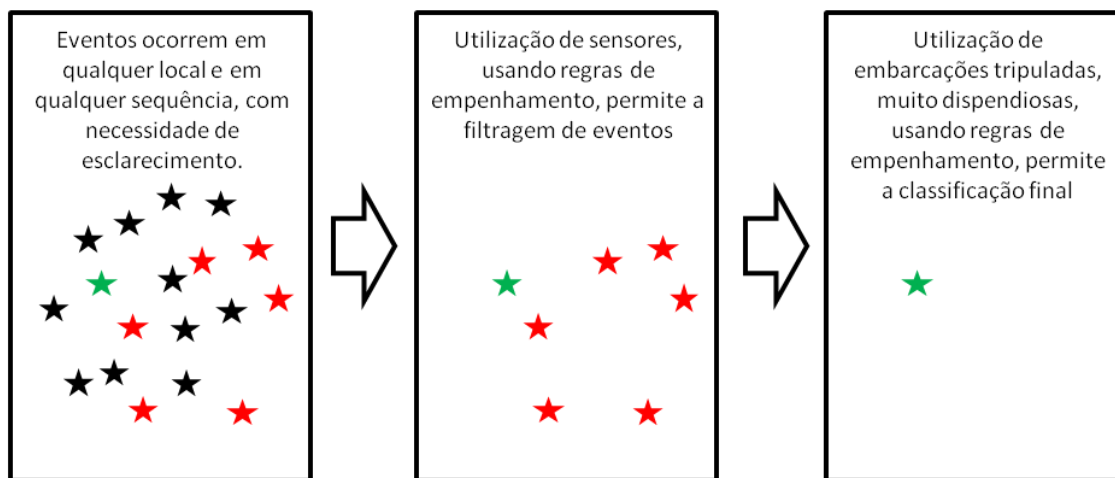


Figura 19. Fases da proteção antiterrorismo.

2.9 CONTRIBUTOS

Com base em equipas de especialistas e usando o GMA, foi desenvolvido um cenário estratégico, presente no quadro 3, um cenário operacional completo e um cenário operacional simples, ambos no quadro 6 e um modelo de decisão tático, para empenhamento de sensores, no quadro 10. Devido à quantidade e complexidade de variáveis de decisão presentes no cenário operacional completo, decidiu-se abordar o problema *step by step*, em que as regras para empenhamento de sensores móveis serão analisadas de forma independente no capítulo 3 e a seleção e localização de sensores fixos será tratada no capítulo 4. O desenvolvimento de um simulador completo e de um algoritmo de desenho automático de áreas de patrulha individual por embarcações tripuladas será coberto pelos capítulos 6 e 7. A integração de todas as componentes, incluindo o algoritmo de cálculo automatizado de custos do capítulo 5, será tratada no capítulo 7.

CAPÍTULO 3. EXPERIMENTADOR DE TÁTICAS

No capítulo 2 foram desenvolvidos cenários operacionais de proteção portuária e matrizes de atividades, tendo sido definidas as variáveis aleatórias, adversariais e de decisão a considerar. Devido à complexidade da proteção portuária, foram definidos cenários simples para estudo das variáveis relacionadas com o controlo tático das embarcações tripuladas e veículos não tripulados. O presente capítulo dedica-se ao estudo do controlo tático de embarcações e veículos não tripulados, perante diferentes valores de variáveis aleatórias e adversariais, assumindo diversos pressupostos necessários para uma menor carga computacional. Não sendo o problema de classificação de eventos em ambiente portuário muito divulgado em termos de produção científica, optou-se por analisar a formulação de outros tipos de problemas encontrados com alguma regularidade, de natureza combinatória, como os de *orienteeering*, *job shop scheduling* e *vehicle routing*. A partir dessas formulações, são desenvolvidos os objetivos e matrizes necessárias ao desenvolvimento do experimentador.

3.1 ANÁLISE DE MODELOS

3.1.1 Problema de orientação

Dentro dos problemas de caixeiro-viajante (TSP para *Travelling Salesman Problem*), o k -TSP tenta encontrar o ciclo mais curto que passe por k vértices. Caso se defina um limite para a distância a percorrer, será interessante determinar o ciclo que permita passar pelo maior número de vértices. Este problema é conhecido por OP, ou *Orienteering Problem* (Chen *et al.* [14]). Muitas variantes do OP têm surgido ao longo do tempo, podendo ser encontradas revisões em Vansteenwegen *et al.* [111] e Gavalas *et al.* [36], quer de algoritmos quer de problemas reais. Em Chen *et al.* [14] é proposto um algoritmo para resolução de um OP onde se fixa o local de partida e chegada, em Cura [18] e Kantor *et al.* [54] são propostos algoritmos para resolução de um OP onde existem janelas temporais para visitar os vértices, em Gavalas *et al.* [36] os vértices têm associadas janelas temporais de início de visita, durações estimadas de visita, custos de visita e importância. Gavalas *et al.* [36] focam-se no desenvolvimento de circuitos turísticos, limitados temporalmente e financeiramente e nos quais as condições atmosféricas obrigam ao estudo de alternativas a locais de visita.

Uma metodologia de replaneamento de caminhos para veículos aéreos não tripulados (UAV *Unmanned Aerial Vehicle*), usados na deteção de engenhos explosivos improvisados (IED), foi apresentada em Reber [84]. São considerados diversos veículos, com dois modos de operação de cada veículo, “*search*” e “*transit*”, sendo o tempo discretizado em *time-steps*. Em Evers *et al.* [30], o problema é revisitado com base em recolha de experiências obtidas no planeamento de missões usando a resolução de problemas de orientação discretos. Nesse trabalho é considerada a incerteza na duração da viagem entre vértices, incerteza na duração da visita a cada vértice, introdução de janelas temporais por vértice e o aparecimento de eventuais vértices prioritários após o início do circuito. Considera-se apenas um veículo, não há opções de operação e enquanto a heurística de replaneamento de Reber [84] é efetuada em cada instante t , a de Evers *et al.* [30] só se realiza após a saída de um local. A única tarefa atribuída ao UAV é agora a de gravação de imagens para posterior análise.

Tendo sido constatado que a investigação de vértices eventuais era a principal preocupação dos utilizadores, Evers *et al.* [30] apresentam um modelo de replaneamento, considerando o potencial dos locais não prioritários e arcos do circuito estarem a ser gravitados ou percorridos aquando do surgimento dum eventual local prioritário. Com a integração deste potencial na função objetivo, o

problema passa a ser designado por MCS-OPTW (*Maximum Coverage Stochastic-Orienteering Problem with Time Windows*) com parâmetros fornecidos por uma WLC (*Weighted Location Coverage*). Em Evers *et al.* [31] revisita-se o problema, considerando agora como estocástico o uso de combustível, mantendo-se determinísticos os tempos de gravação, duração do percurso ao longo dos arcos e eliminando a ocorrência de locais eventuais prioritários. Para resolver o problema, são apresentadas duas abordagens, uma denominada de otimização robusta e outra de programação estocástica. Na otimização robusta, assume-se que os consumos seguem uma distribuição normal, trabalhando-se com os parâmetros da distribuição. Na abordagem por programação estocástica, a função objetivo é penalizada pelo conjunto de locais que não foram visitados.

O uso do potencial associado aos arcos é também considerado por Larco *et al.* [60], com aplicação em operações de manutenção ou segurança, onde um conjunto de veículos deve completar tarefas previstas e não previstas dentro de um determinado horário. Num problema que os autores apelidam de *Stochastic Service Team Orienteering problem* (SSTOP), para além de tarefas de rotina, com janelas de tempo, surgem outras inopinadas e urgentes, segundo uma distribuição de Poisson. Segundo os autores, este problema diferencia-se do *Multiple Traveling Salesman Problem with Time Windows* (m-TSPTW) devido à existência de diferentes tipos de tarefa e ao reconhecimento de que não é possível atender a todos os pedidos. Trabalhando igualmente sobre um grafo completo, utilizam estratégias separadas para a componente fixa e para a componente inopinada. Para resolver a componente inopinada, usam uma variante do *Maximum Coverage Location Problem* (MCLP), apresentada por Reville [86], para a localização de ambulâncias. Na variante de Reville [86], a posição atual do veículo, obtida com recurso a um sistema de posicionamento global, permite cobrir tarefas durante os percursos de e para o depósito.

Revistos alguns dos mais recentes desenvolvimentos em termos de heurísticas para replaneamento de circuitos para UAV, resolvendo um OP, verifica-se que desde o trabalho de Reber [84] tem havido uma grande preocupação em melhorar a modelação do mundo real, com a substituição de parâmetros constantes por distribuições de probabilidade e a introdução de alvos prioritários não previstos inicialmente, com taxa de chegada constante. A resolução do problema matemático considera depois os parâmetros das distribuições para a obtenção de boas soluções. Sobre o passo final, da passagem do modelo matemático para a realidade, pouco se sabe. Na verdade, a utilização de qualquer um dos modelos implica a existência de complexos sistemas de informação, para recolha, validação e filtragem de dados no terreno, os quais teriam obrigatoriamente de estar integrados com a ferramenta de otimização para esta poder funcionar corretamente. Caso contrário, a recolha, validação e tratamento manual impede logo à partida o uso de qualquer heurística das revistas anteriormente. Para além destas dificuldades de passagem do modelo para a realidade, outras poderiam ainda ser apontadas em termos de modelação:

- Usando UAV, caso o combustível termine antes da chegada ao depósito, assistimos à perda total do veículo e das gravações efetuadas. Tal fenómeno não sucede com veículos de superfície;
- Os algoritmos usados garantem uma certa previsibilidade dos circuitos. Em caso de conflito ou instabilidade, este efeito provoca apenas que os locais de interesse sejam alterados sem conhecimento do utilizador; convém que qualquer algoritmo deste tipo, usado contra um potencial inimigo, tenha em conta a sua inteligência;
- Considerar a criação de vértices artificiais, que permitam a criação de novos arcos com potencial elevado. Nas formulações onde se utiliza o potencial dos arcos, um local prioritário apenas será visitado caso esteja próximo de outros locais ou arcos entre eles;

- Usando UAV, considerar o mundo a 3D. O alcance eficaz dos sensores óticos obriga a voos a baixa altitude, sendo a alteração de altitude muito gravosa em termos de gastos de combustível. Apesar de em Reber [84] o cenário ser plano, atualmente assiste-se a uma mudança de foco para zonas urbanas e montanhosas, onde é interessante encontrar caminhos sobre linhas de altitude idêntica;
- O vento não é ruído branco, sendo extremamente gravoso sobre aparelhos de pequena massa. Zonas urbanas e montanhosas oferecem ainda problemas devido a constantes planos de obstrução, provocando frequentemente distúrbios localizados. Existem servidores de previsão meteorológica com grande detalhe, devendo os arcos tomar em conta o sentido e intensidade do vento, por altitude. Por outro lado, os próprios eventos à superfície podem ser afetados por estas condições. Conhecimento sobre as variáveis aleatórias pode evitar o recurso à estocasticidade nos tempos de viagem ou de gravação;
- O nevoeiro, precipitação e luz solar não são ruído, impedindo a captação de imagens e a própria navegação. Os algoritmos existentes deveriam ter em conta a necessidade de evitar estes fenómenos atmosféricos, facilmente previsíveis caso se disponha do apropriado sistema de informação;
- O cálculo do potencial de cada arco entra em conta com uma taxa de chegada de eventos prioritários a locais fixos. No entanto, apenas se prevê a visita numa ocasião (restrições de conservação de fluxo). O que é que acontece nas outras chegadas? Não deveria ser levantada a restrição?
- Em caso de guerra ou conflito armado, a gravitação junto de locais perigosos expõe desnecessariamente o veículo a ameaças físicas, pelo que deveria ser evitado. Uma forma de o fazer seria incluir o tempo total de gravitação na função objetivo como penalização e permitir flexibilidade na hora de largada;
- Caso um arco entre vértices previstos cubra vários vértices eventuais, seria interessante percorrer diversas vezes o mesmo arco ou então percorrê-lo com uma velocidade inferior; poderia ser equacionada a criação de vértices fictícios, co-localizados com um vértice existente, que não teriam ganho associado mas permitiriam manter as restrições de visitar apenas uma vez cada vértice e arco;
- Seria interessante otimizar a velocidade do veículo, mantendo controlado o total de combustível ou carga elétrica; poderia reduzir-se a velocidade sobre arcos com potencial e aumentar a velocidade sobre os outros, evitar a deambulação e conseguir aproveitar melhor as janelas temporais. O próprio factor U passaria a ser uma variável em vez de um escalar.
- Inerente à modelação efetuada (combinatória sobre um grafo), os vértices não têm movimento nem o sistema reage à presença dos veículos ou das rotas (a previsibilidade é amiga do agressor).

A utilização da simulação permitiria não só cobrir as dificuldades apontadas como igualmente o estudo de doutrina a aplicar a estes casos de utilização dos UAV, dispensando a existência de complexos sistemas de apoio à decisão, com uma igual complexidade na utilização. Por outro lado, a incorporação da reação antagonista seria rápida e facilitada, permitindo a integração da proteção do veículo na função objetivo.

3.1.2 Problema de *job shop scheduling*

Conforme Geyik *et al.* [37], um problema de *job shop scheduling* (JSS) consiste num número finito n de trabalhos (*jobs*, tarefas, utentes) $J=\{J_1, \dots, J_n\}$, que precisam de ser processados num número finito m de processadores $M=\{M_1, \dots, M_m\}$. Um número p_i de operações de processamento (O_{ia}, \dots, O_{ib}) deve

ser executado de forma ordenada para completar o trabalho i , onde O_{ia} indica que o sujeito i deve ser processado pelo processador a . De acordo com a rotina de produção, cada trabalho é processado em processadores com um determinado tempo de processamento e cada processador apenas processa um trabalho de cada vez, Chen *et al.* [13]. O planeamento de um sistema de *job shop* pretende definir a afetação temporal de recursos para o processamento de uma pré-determinada coleção de trabalhos, Surekha *et al.* [107], ou como definem Alkyol *et al.* [2], a determinação da sequência de operações que respeite as restrições do problema e otimize um dado critério de desempenho ou função objetivo. Em Hart *et al.* [43] apresenta-se um resumo de funções objetivo usadas em problemas do tipo JSS. O quadro 17 resume as notações clássicas, com alguns exemplos.

Quadro 17. Exemplos de notações de problemas do tipo JSS

Dados	
$J = \{J_1 \dots, J_n\}$	Conjunto de trabalhos que necessitam de ser processados
$M = \{M_1 \dots, M_m\}$	Conjunto de processadores
$O = \{O_{11} \dots, O_{nm}\}$	Conjunto de operações de processamento de trabalhos
p_{ij}	Tempo de processamento da operação O_{ij} , do trabalho J_i pelo processador M_j
r_i	Instante de chegada ao sistema de J_i
d_i	Prazo de referência para a conclusão do processamento de J_i
w_i	Peso representativo da importância relativa de J_i
Estatísticas	
C_i	Instante em que J_i é dado como terminado
$F_i = C_i - r_i$	Tempo em que J_i permanece no sistema
$W_i = F_i - \sum_j p_{ij}$	Tempo de espera de J_i no sistema
$L_i = C_i - d_i$	Atraso de J_i
$T_i = \max\{L_i, 0\}$	Tardeza de J_i
$I_j = C_{\max} - r_{\min} - \sum_i p_{ij}$	Tempo de inatividade do processador M_j
Função objetivo	
$\min C_{\max}$	Minimizar o instante em que se termina o processamento de todos os trabalhos
$\min \bar{T}$	Minimizar a tardeza média
$\min \#\{T_i > 0\}$	Minimizar o número de trabalhos tardios

Os problemas JSS incluem normalmente pressupostos, tais como um processador não realizar mais do que uma operação em simultâneo, um trabalho não poder ser processado em simultâneo por dois processadores e nenhuma operação poder ser cancelada, interrompida ou repetida, os trabalhos não se alteram durante os tempos de espera, os processadores estão permanentemente no sistema. Nos chamados problemas finitos, determinísticos e estáticos, todos os dados são conhecidos e imutáveis. Sendo um problema considerado *NP-Hard* conforme Lenstra *et al.* [62], diversas técnicas baseadas em inteligência artificial foram sendo desenvolvidas nos últimos anos, conforme resumido por Çalis *et al.* [11]. Como referido em Ösgüven *et al.* [75], os problemas atuais de JSS não se resumem apenas a trabalhos com necessidades de processamento fixas e processadores que executem apenas um tipo de processamento. Um *job-shop* flexível permite que uma determinada operação possa recorrer a diversos processadores. No entanto, mantêm-se como pressupostos que se sabe à partida qual o conjunto de trabalhos a realizar e qual a duração de cada trabalho em cada tipo de processador.

O problema JSS flexível com chegadas de trabalhos de forma aleatória é abordado em Zhang *et al.* [116], com a proposta de uma heurística de busca local para minimizar \bar{T} . A existência de problemas devido à avaria de processadores é abordada em He *et al.* [45], com a proposta de introdução dos tempos previstos de reparação dos processadores nos tempos de processamento. Em Shen *et al.* [102], é efetuada uma revisão de trabalhos relativos a *job-shops* flexíveis, com chegadas aleatórias de novos trabalhos e avarias de processadores, introduzindo a necessidade de procurar responder a

diversos objetivos em simultâneo, como a eficiência do trabalho, a robustez do planeamento e a estabilidade do sistema. Este tipo de problema é conhecido por MODJSSP (*Multi-Objective Dynamic Job Shop Scheduling*), propondo os autores que os objetivos não sejam usados em simultâneo por serem antagónicos. Meta-heurísticas, redes neuronais e programação dinâmica são consideradas para se conseguir resolver o MODJSSP, todas elas requerendo que o modelo aplicado receba automaticamente todos os dados do problema, apesar de tal requisito nunca ser referido por nenhum autor. Em Panwalkar *et al.* [78], Goldberg [40] e Shen *et al.* [102], entre muitos autores, são estudadas regras simples para a sequenciação míópica das operações, como a do *earliest due date* (EDD), *first in first out* (FIFO) e *shortest processing time* (SPT).

As regras heurísticas de sequenciação (escolha do próximo trabalho a realizar num processador) ou de *dispatching* (escolha da próxima afectação trabalho-processador, para início de uma nova operação) constituem formas expeditas de abordar problemas complexos, sendo muito fáceis de aplicar no mundo real. Note-se que nalguns problemas de JSS são considerados períodos de preparação ou pré-processamento (*set-up*), antes das operações propriamente ditas. Esses períodos correspondem aos tempos de viagem nos problemas VRP, descritos a seguir.

3.1.3 Gestão de frotas em tempo real

A formulação do problema de gestão de frotas (*Vehicle Routing Problem*, VRP) foi introduzida por Dantzig *et al.* [19], como uma generalização do problema de caixeiro-viajante. O VRP é geralmente definido num grafo $G(V, E, C)$, onde V representa o conjunto de vértices $\{v_0, \dots, v_n\}$, E o conjunto de arcos de ligação entre vértices e C uma matriz de custos, distâncias ou tempos de viagem associada a E . Considerando que v_0 corresponde a um depósito e os restantes vértices correspondem a clientes, a resolução do problema consiste em encontrar um conjunto de rotas para k veículos idênticos baseados no depósito, garantindo que cada vértice é visitado apenas uma vez e minimizando o custo de roteamento (custo financeiro, distâncias ou tempos).

Para além desta formulação clássica, conforme apresentado por Pillac *et al.* [80], foram surgindo ao longo do tempo diversas variantes, como a CVRP (C para *capacitated*), onde cada cliente exige uma determinada quantidade e os veículos têm limite de carga; a VRPTW (TW para *Time Windows*), onde cada cliente deve ser visitado durante uma janela temporal; a VRPPDP (PD para *Pick-up and Delivery*) onde a carga deve ser carregada e entregue em determinadas quantidades nos vértices; a HVRP (H para *Heterogeneous*), onde os veículos têm diferentes capacidades; a DARPVRP (DARP para *Dial-A-Ride Problem*) para transporte de pessoas entre vértices e a DAFPVRP (DAFP para *Dial-A-Flight Problem*) para o transporte aéreo.

Uma revisão de soluções e algoritmos para resolver este tipo de problemas, conhecido por RVRP (*Real-time Vehicle Routing Problems*), pode ser encontrado em Ghiani *et al.* [38]. Nesta revisão, são identificadas aplicações na área, entre as quais serviços de reboques e reparações, serviços de emergência e serviços de táxis, propondo ainda uma classificação para os problemas existentes. Usando essa classificação, o problema de atribuição de embarcações a eventos pode ser considerado como dinâmico (os dados de entrada dependem do instante) e estocástico (os dados de entrada não são todos conhecidos quando se decide sobre uma atribuição). No mesmo trabalho é referido que os objetivos pretendidos com a resolução de RVRP são normalmente uma combinação de diversas medidas, desde minimizar custos até minimizar tempos de espera. É ainda identificado que para determinados problemas é necessário recorrer a uma simulação em tempo discreto para avaliar a qualidade de soluções obtidas por algoritmos, sendo categorizados os algoritmos existentes e caminhos a percorrer. Para a resolução de RVRP, os algoritmos existentes podem ser divididos em

três categorias: regras simples, algoritmos de inserção e meta-heurísticas, sendo que o uso de meta-heurísticas obriga normalmente ao uso de computação paralela. Identificando a dificuldade de lidar com problemas RVRP, os autores apontam diversos caminhos futuros, como o desenvolvimento de novas heurísticas, com capacidade de prever o futuro, experimentando o resultado de duas opções: utilizar todos os meios, minimizando o tempo de ocupação de cada um; manter sempre meios desocupados, que deverão ser recolocados de forma a minimizar futuros tempos de espera. São ainda identificados problemas com necessidade de investigação, como situações onde os tempos de viagem variem em tempo real; problemas de atribuição e recolocação de ambulâncias; problemas de atribuição e roteamento de veículos autónomos, usados na indústria e em terminais portuários.

3.1.4 Abordagem *System-of-Systems*

Um sistema de apoio à decisão *online*, pode ser considerado como um conjunto de sistemas, tal como representado na figura 20.

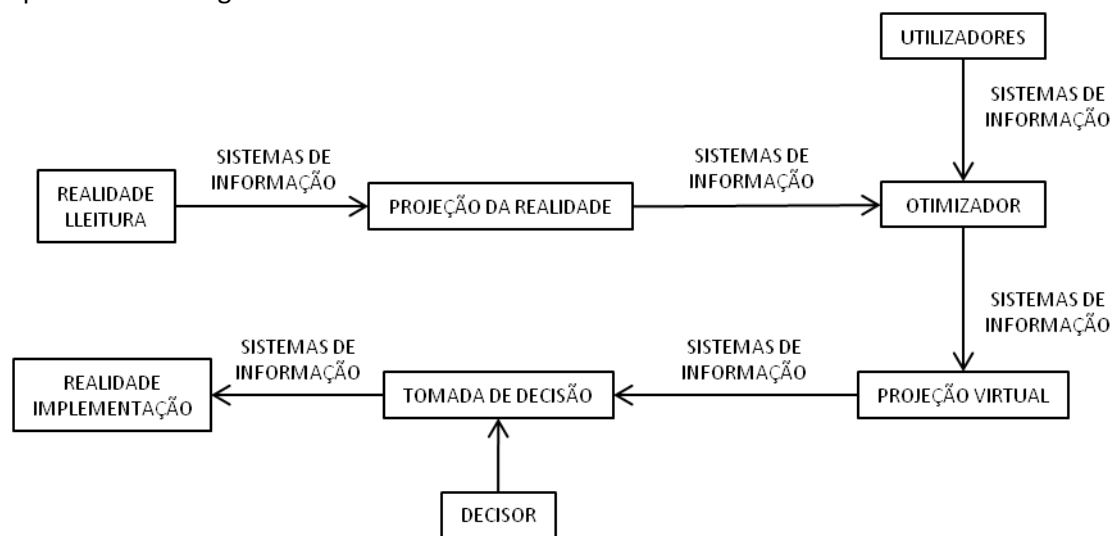


Figura 20 Sistema de apoio à decisão otimizado

A realidade é medida por sensores, os quais usam um sistema de informação para enviar dados para um centro de comando e controlo. Neste centro, um outro sistema de informação recolhe, valida e grava os dados numa base de dados estruturada. Os dados gravados são depois complementados manualmente, usando um terceiro sistema de informação. Uma metodologia, método ou heurística de otimização tem lugar, recorrendo aos dados gravados automaticamente ou de forma manual. As soluções obtidas irão ser visualizadas através de um sistema de informação (geográfico ou outro), apresentando ao decisor as opções e resultados. Recorrendo a um outro sistema de informação, o decisor explora as opções e finalmente, recorrendo a novo sistema de informação, transmite as suas ordens ou instruções para o mundo real. Estima-se a necessidade de seis sistemas de informação, sendo que usualmente os centro de comando e controlo dispõem do apresentado na figura 21. Caso se disponha de orçamento, poderá ser desenvolvido um sistema de informação único, que cubra todas as necessidades de fluxo de informação. Ficaria no entanto dependente do método adotado inicialmente, com dificuldade de evolução para diferentes características do problema real.

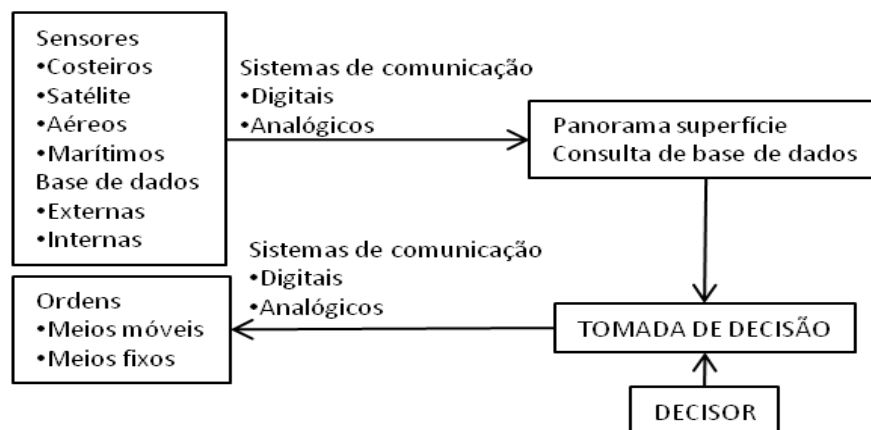


Figura 21 Sistema de apoio à decisão típico.

Permite respostas ágeis a necessidades de segurança e fiscalização, baseadas na doutrina existente.

As heurísticas analisadas anteriormente focam-se no bloco do otimizador, assumindo que todo o restante sistema existe. No entanto, esse não é o caso. Os sistemas de apoio à decisão atuais apresentam uma projeção da realidade, sobre a qual incide a tomada de decisão. Os otimizadores funcionam normalmente sobre dados históricos, comparando depois os seus resultados otimizados com os resultados obtidos por decisões tomadas pelo decisor, sem acesso à otimização, ou com resultados obtidos por outras metodologias.

Em ambientes adversariais, onde a entrada de informação é contínua e são necessárias ordens igualmente em contínuo, a perda de tempo necessária para obter uma resposta otimizada pode levar a que as soluções apresentadas percam a sua validade. Se a esse problema de perecibilidade da solução juntarmos o facto de em missões projetadas não ser viável nem a aquisição nem a instalação de um sistema de apoio à decisão completo, mais se torna interessante a análise de doutrina a aplicar em contínuo, desde que resultante de suficiente experimentação. Por outro lado, a vantagem da criação de doutrina permite a sua divulgação por países ou Marinhas aliadas, sem qualquer custo associado, permitindo a sua adoção de imediato sem necessidade nem de aquisição de equipamentos ou desenvolvimento de sistemas específicos por país ou centro de comando e controlo.

Usando as palavras de Woolsey *et al.* [113], citadas por Silver *et al.* [104] e [105], “Os decisores preferem um problema que não conseguem resolver do que uma solução que não compreendem”. Esta afirmação é particularmente aplicada aos meios militares, tradicionalmente pragmáticos, que preferem basear as suas decisões em doutrina adquirida através da experiência. Em Silver *et al.* [104] e [105], é efetuada uma análise de métodos heurísticos utilizados em investigação operacional e aos problemas que pretendem solucionar. Como pressupostos comuns a todos os métodos, a modelação já foi feita, uma boa solução em tempo é melhor que uma solução ‘ótima’ tardia e o decisor deve entender a razão de ser da solução. Em nenhum dos métodos foi considerado que o mundo reagia à solução obtida, nem que soluções já visitadas mudavam de valor durante a execução da heurística.

Em Beck *et al.* [6] é apontado que, por existirem atualmente diversas técnicas que conseguem resolver problemas difíceis, a modelação de problemas reais tende sempre a tentar que se encaixem em problemas já resolvidos. Por exemplo, se um problema puder ser modelado de forma linear, existem disponíveis no mercado diversas aplicações que o resolvem de forma adequada; no entanto, para que tal aconteça, diversos compromissos devem ser assumidos, daí advindo que o resultado obtido pode não ser a solução do problema real. Pegando num problema que pode ser modelado

como VRP ou JSSP, mediante certos compromissos, Beck *et al.* [6] concluem que nenhuma das tecnologias existentes no mercado para JSSP e VRP o consegue resolver de forma adequada.

A utilização de simulação para resolver problemas complexos é referida em Robinson [97] e Banks *et al.* [5], tendo como principais dificuldades:

- A dificuldade de implementação devido à necessidade de uma interação permanente entre o responsável pelo desenvolvimento e o especialista operacional. Podendo levar anos a desenvolver, é praticamente impossível que se mantenham os interlocutores durante esse período, levando à constante alteração de requisitos operacionais e perícias de desenvolvimento. Quanto mais complexa e abrangente a necessidade, maior a dificuldade de se conseguir chegar a um resultado consensual;
- Dificuldade na interpretação de resultados, que podem ser originados quer pela aleatoriedade das variáveis de entrada quer pela sua inter-relação;
- A simulação pode ser mais demorada do que a obtenção de soluções analíticas, quando estas são viáveis.

No caso atual, as desvantagens apontadas podem ser ultrapassadas porque:

- O desenvolvimento é efetuado pelo próprio especialista operacional, eliminando-se assim a dificuldades de diálogo e as alterações de interlocutores;
- São experimentadas dezenas de milhares de réplicas, permitindo analisar se as alterações de resultados são devidas às políticas seguidas ou à aleatoriedade das variáveis iniciais;
- Não foram encontradas metodologias que permitam lidar com todas as características do problema.

Desconhece-se a existência na atualidade de sistemas de apoio à decisão com aplicação na proteção portuária, apenas sistemas de informação. A criação de doutrina permitirá a melhoria da eficácia dos meios empregues, sem qualquer custo financeiro adicional. A simulação é ainda particularmente indicada para problemas de grande complexidade, envolvendo pessoal e máquinas, onde o risco do erro é demasiado elevado (pode envolver a perda de vidas humanas), como apontado por Reeb *et al.* [85] e Shannon [101].

3.2. EXPERIMENTADOR DE PLATAFORMAS NÃO TRIPULADAS

3.2.1 Introdução

Operando as plataformas móveis numa área de filtragem, pretende-se que ao entrar na área de patrulha todos os eventos tenham a classificação NCON (sem interesse), NTER (positivamente não terroristas) ou POSSTER (características que permitem o seu uso por terroristas). As dispendiosas embarcações tripuladas terão apenas de se dedicar à vistoria dos eventos POSSTER, passando-as posteriormente para PROBTER (necessidade de deter fisicamente para posteriores averiguações) ou NTER (positivamente não terrorista). Em Ferreira [34] é abordado o problema da visita por UAV, sem no entanto considerar a existência de diversas plataformas classificadores nem o problema da classificação em si.

A tomada de decisão em situações de grande dinamismo como a de classificação de contactos assenta essencialmente no oficial responsável pelo centro de coordenação. Regras de decisão simples podem ser tomadas (doutrina), faltando apenas definir qual a mais apropriada face às dificuldades de autonomia das plataformas e à sua disponibilidade. Para além disso, poderá ser testada a situação de interromper uma tarefa já atribuída, hipótese encontrada nos trabalhos de OP,

em que um vértice inopinado obriga à interrupção de uma gravação sobre outro vértice. No caso atual, nenhum vértice é à partida prioritário relativamente aos restantes.

Para teste de regras de atribuição de tarefas a plataformas móveis não tripuladas, dotadas de sensores, que permitam minimizar a chegada à área de classificação de eventos com a classificação DESC (por classificar), foi desenvolvido um simulador em tempo discreto em ambiente MATLAB (7.11.0) R2010b. Foram testados dois cenários, sendo um dedicado a atividades subaquáticas com classificação por plataforma de superfície munida de sonar e sensor ótico, o outro dedicado a atividades de superfície, com classificação por plataforma aérea munida de sensor ótico. Foram alterados os polígonos do cenário para verificação da sensibilidade das regras face ao eixo de ameaça e colocação da plataforma base dos veículos usados.

Com o referido simulador, foram testadas seis regras simples de empenhamento de plataformas, obtidas a partir da combinação de três regras de prioridade de alvos e duas regras para atribuir prioridade a veículos para efetuar a classificação. A principal diferença em relação ao trabalho de Bednowitz [8] reside nas restrições espaciais impostas aos alvos.

Apesar de nenhum dos três modelos analisados (JSSP, OP e VRP) ter aplicação direta no problema analisado, optou-se por adotar alguma da terminologia usada pelos problemas de JSS. Considere-se como trabalho a tarefa de classificação de um evento, a processar por plataformas com sensores. Cada operação necessita de apenas um processador, podendo ser qualquer um dos existentes. Como objetivos, garantir que todos os trabalhos são executadas oportunamente, é minimizado o número de veículos e o seu tempo de uso (devido à sua autonomia muito limitada). Como características dinâmicas, o facto de não se saber *a priori* quantos trabalhos existem, qual a sua hora de chegada, qual o seu *due-date* (hora a partir da qual o evento transita para a área de vistoria) e qual o tempo de processamento (relacionado com a demora do veículo a chegar ao evento, função da posição de deteção inicial, rumo e velocidade variável do evento, posição atual e no final da tarefa o veículo de identificação). Considera-se assim que o problema de classificação tem algumas das características do MODJSSP dinâmico, apresentado por Shen *et al.* [102].

3.2.2 Estruturas de dados

Eventos

Seja TJ ($itot \times 10$) uma matriz de situação de eventos, em que cada linha i corresponde a um evento e as dez colunas guardam atributos desse evento. A quantidade de eventos $itot$ dependerá da densidade da navegação e do período temporal $tmax$ especificado para a simulação. As colunas contêm a identificação única e instante de origem do evento, instante atual, instante previsto para a saída do polígono, coordenadas x e y da posição atual, velocidade atual, rumo atual, estado atual (0=ativo, 1=terminado) e estado da classificação do evento (0=não classificado, 1=classificado). O estado atual transita de 0 para 1 quando a posição atual do evento se situar fora do polígono do cenário. O estado de classificação transita de 0 para 1 sempre que uma plataforma o classifique (a classificação sucede quando a plataforma se posicione a uma distância inferior ao alcance do sensor de bordo). Os valores da matriz TJ são atualizados em cada instante, à exceção das duas primeiras colunas, contendo a identificação e nascimento do evento. O número de linhas aumenta em cada instante, caso sejam gerados novos eventos. Cada novo evento é gerado com a indicação de ativo e não classificado. Seja $tmax$ o número de time-steps da simulação:

$$\begin{array}{l} TJ_{i1} \text{ a } TJ_{i4} \\ TJ_{i2}, TJ_{i3} \leq tmax \end{array} \quad \begin{array}{l} (\text{guarda ID do evento e instantes de nascimento, atual, e morte}) \\ (\text{instantes de nascimento e atual}) \end{array} \quad (3.1)$$

$TJ_{i4} > TJ_{i2}$	(garante que morte sucede ao nascimento)
$TJ_{i5}, TJ_{i6} \in \text{poligono}$	(posição de nascimento e atual, 2D, no interior de polígono)
$TJ_{i7} \in [v1, v2]$	(velocidade limitada por mínimo e máximo)
$TJ_{i8} \in [r1, r2]$	(rumo limitado por mínimo e máximo)
$TJ_{i9}, TJ_{i10} \in \{0,1\}$	(estado atual e classificação binários)

Plataformas de classificação

Seja **TP** ($n \times 10$) uma matriz de situação de plataformas de classificação, com n linhas (uma linha por plataforma) e dez colunas com: identificação única da plataforma, instante atual, coordenadas x e y da posição atual, velocidade atual, rumo atual, situação (0=patrulha, 1=regresso, 2=investigação), coordenadas x e y da posição de patrulha, identificação do evento alvo, com o valor 0 reservado para as situações em que não tem alvo atribuído. Os valores da matriz **TP** são atualizados em cada instante, à exceção da primeira coluna:

$TP_{k1} = k \quad 1 \leq k \leq n$	(identificação da plataforma)
$TP_{k2} < tmax$	(instante atual)
$TP_{k3}, TP_{k4} \in \text{poligono}$	(posição 2D no instante, no interior do polígono)
$TP_{k5} \in \{0, v3\}$	(velocidade praticada, pairar ⁸ ou cruzeiro ⁹)
$TP_{k6} \in [0, 2\pi[$	(rumo da plataforma no instante)
$TP_{k7} \in \{0,1,2\}$	(situação atual)
$TP_{k8}, TP_{k9} = \text{base}$	(posição 2D da base)
TP_{k10}	(ID do evento alvo, obtida de TJ)

(3.2)

Interações

Seja **ANC** (p) um vector, calculado instante a instante, contendo a identificação única de todos os **p** eventos que, nesse instante, estejam ativos e não classificados.

Seja **D1** ($p \times n'$) uma matriz de demoras para interceção, com linhas contendo eventos com indicação de ativo não classificado e uma coluna por plataforma sem alvo atribuído ($n' \leq n$).

Seja **D2** ($p \times n$) uma matriz obtida de forma idêntica, considerando agora todas as plataformas. A demora para interceção constante em **D1** e **D2** é obtida pela resolução de (3.3) em ordem a t :

$$t^2(V_a^2 - V_b^2) + 2tV_a(dx \cos \alpha + dy \sin \alpha) + dx^2 + dy^2 = 0 \quad (3.3)$$

em que V_a e V_b são as velocidades atuais do evento e da plataforma, respetivamente, dx e dy são as diferenças entre coordenadas x e y do evento e da plataforma, α é o rumo do evento.

As operações de atribuição de plataformas a eventos são definidas instante a instante, constituindo as decisões, a definir posteriormente. Essa informação é guardada na matriz **X** ($(n \times tmax) \times 3$). Cada instante t produz a geração de n linhas, uma por plataforma. A primeira coluna indica a plataforma, a segunda o instante, a terceira o evento alvo. A matriz **X** é obtida por leitura, instante a instante, da matriz **TP**. Em **X** ficamos com a informação das ordens dadas, em cada t , às plataformas de classificação.

Por ser necessária a contagem de plataformas ativas em cada t e o tempo de uso por plataforma, é criado um vector **XP** contendo o número de plataformas que por instante t não se encontram na

⁸ Manter posição relativamente ao fundo

⁹ Velocidade que permite a maior distância percorrida, específica de cada plataforma.

situação de patrulha (consideram-se como ativas as plataformas que se encontrem em aproximação a um evento ou de regresso à base):

$$XP_t = \#\{k: TP_{k7} \neq 0 \wedge TP_{k2} = t\} \quad (3.4)$$

A função objetivo deve contemplar a maximização do número de eventos classificados e a minimização do tempo médio de uso das plataformas, para um n definido *a priori*. Como alternativas, poderemos definir como requisito a classificação de todos os eventos, pretendendo-se minimizar n e o tempo de voo. Considerando que um evento terrorista gerado no instante t demora algum tempo a chegar a uma área crítica (sucesso do terrorista) ou a ser detido (insucesso do terrorista), a simulação deverá correr durante o tempo necessário para que todos os eventos gerados mudem de estado.

Quadro 18. Funções objetivo

Função	Símbolo	Cálculo
Sucesso na classificação (Entre os eventos gerados no intervalo, cálculo da percentagem dos que foram classificados, recorrendo à matriz TJ).	S_{max}	$\frac{\#\{i: TJ_{i10} = 1 \wedge TJ_{i2} \leq tmax\}}{\#\{i: TJ_{i2} \leq tmax\}}$
Quantidade máxima de plataformas necessárias	N_{max}	$max XP_t, \forall t \leq tmax$
Tempo médio de voo por plataforma	\bar{V}	$\frac{\sum_{t=1}^{tmax} XP_t}{tmax}$

3.2.3 Regras de empenhamento

Regras de prioridade de alvos

Em cada instante de tempo, seleccionar um evento ativo e não classificado, i^* , segundo uma regra de prioridade simples, e determinar a ordem z^* desse evento, $ANC(z^*)=i^*$, para uso nas regras de prioridade de plataformas.

- **Regra FIFO (first in first out)**

Seleccionar o evento com o menor instante de entrada na área de vigilância:

$$i^* = \underset{i}{\operatorname{argmin}} \{TJ_{i2}: TJ_{i9} = 0 \wedge TJ_{i10} = 0\} \quad (3.5)$$

- **Regra EDD (earliest due date)**

Seleccionar o evento com o menor instante de saída da área de vigilância:

$$i^* = \underset{i}{\operatorname{argmin}} \{TJ_{i4}: TJ_{i9} = 0 \wedge TJ_{i10} = 0\} \quad (3.6)$$

- **Regra SPT (shortest processing time)**

Seleccionar a ordem do evento com a menor demora de interceção pelas plataformas seleccionadas:

$$z^* = \underset{z}{\operatorname{argmin}} \{D2\} \quad (3.7)$$

A informação do evento está guardada no vector **ANC**, o qual contém a identificação dos eventos ativos em cada instante, pelo que $i^*=ANC_{z^*}$. A utilização de **D1** ou **D2** dependerá da regra usada para a prioridade de plataforma a usar na classificação.

Regras de prioridade das plataformas

- **Regra MOO (*maintain operation order*)**

Tendo sido definido o alvo prioritário i^* , bem como o seu índice z^* em **ANC**, é obtida a identificação de plataforma n^* a partir de **D1** (matriz de distâncias calculada só com plataformas disponíveis):

$$n^* = \underset{j}{\operatorname{argmin}} D1_{z^*j} \quad (3.8)$$

Mantêm-se as operações já existentes.

- **Regra BOO (*break operation order*)**

Tendo sido definido o alvo prioritário i^* , bem como o seu índice z^* em **ANC**, é obtida a identificação de plataforma n^* a partir de **D2** (matriz de distâncias calculada com todas as plataformas, incluindo as que se encontram empenhadas numa operação):

$$n^* = \underset{j}{\operatorname{argmin}} D2_{z^*j} \quad (3.9)$$

Regras integradas

As regras a serem testadas incluem sempre uma regra de prioridade de alvo e uma regra de prioridade de plataforma, combinando todas as regras existentes. Em resumo, serão testadas as seguintes seis regras:

FIFO-MOO, EDD-MOO, SPT-MOO, FIFO-BOO, EDD-BOO, SPT-BOO.

3.2.4 Definição de cenários

São definidas as características dos cenários de superfície e subaquático, apresentando-se um resumo no quadro 19. As dimensões e tipo de polígono, apresentadas como fixas neste conjunto de cenários, serão alteradas posteriormente para análise de sensibilidade.

Características comuns para superfície e subaquático

- **Intervalo temporal de experimentação.** Serão simulados 30.000ts, tendo cada um a duração de 15 seg, o que corresponde a 125 horas reais. Para recolha de indicadores, serão eliminados os primeiros e os últimos 5.000ts (os primeiros 5.000ts são retirados para garantir uma certa estabilidade de ocorrências no interior da área de vigilância, os últimos para garantir que todos os eventos gerados tiveram oportunidade de chegar ao destino ou serem classificados). O valor de 30.000ts foi obtido após experimentação de vários valores, garantindo que para diferentes instâncias de gerações de eventos se mantêm os indicadores obtidos (sucesso na classificação, quantidade máxima de plataformas usadas e tempo de voo médio).
- **Polígono geográfico de experimentação.** O polígono convexo dentro do qual evoluem quer os eventos quer as plataformas simula uma aproximação de canal, formato trapezoide isósceles, altura de 3nm, bases de 4nm e 1nm, área de 7.5nm², visível na figura 22. Os limites do polígono são usados nas estruturas de dados **TJ** e **TP**.

- **Geração temporal e geográfica de eventos.** São testados intervalos médios (μ) entre contactos variando de 1 a 10ts. O espaçamento entre contactos é obtido usando uma distribuição exponencial negativa de parâmetro μ . Os eventos são gerados geograficamente na base de maior dimensão do polígono, utilizando um gerador pseudo-aleatório de distribuição uniforme.

Características específicas do cenário subaquático

- **Atividades simuladas.** São simuladas as atividades de mamíferos aquáticos e terrorismo de mergulho.
- **Dinâmica dos eventos.** A velocidade base dos eventos é obtida utilizando um gerador pseudo-aleatório de distribuição uniforme, com os limites $v_1=0.5\text{nó}$, $v_2=2\text{nó}$, usados em **TJ**, à semelhança do observado na realidade. O rumo inicial em graus, usado igualmente em **TJ**, é obtido após se ter definido o destino geográfico de cada evento, sobre a base de menor dimensão do polígono. O cálculo da próxima posição de cada evento é obtido aplicando erros aleatórios de valor máximo de 0.5nó e 5° , nos valores de velocidade e rumo respetivamente.
- **Dinâmica das plataformas não tripuladas.** Tendo as plataformas não tripuladas uma curta autonomia, considera-se a existência de uma base fixa situada no centro da base menor do polígono. A posição da base está descrita em **TP**. No início da simulação, todas as plataformas disponíveis encontram-se na base, a ela regressando quando não têm alvo atribuído. A velocidade da plataforma decorre das capacidades dos atuais modelos disponíveis na atualidade, sendo considerado um leque de velocidades entre os 6 e os 10nó . A velocidade $v_3=\{6,8,10\}$, descrita em **TP**, mantém-se fixa durante a simulação. Os rumos são calculados instante a instante, de modo a garantir a interceção de 2ª ordem do evento. Serão testadas diferentes quantidades de plataformas de forma a analisar o desempenho das regras de decisão.

Características específicas do cenário de superfície

- **Atividades simuladas.** Navegação mercante, pesca em trânsito, recreio não motorizado.
- **Dinâmica dos eventos.** A velocidade base dos eventos é obtida utilizando um gerador pseudo-aleatório de distribuição uniforme, com os limites $v_1=6\text{nó}$, $v_2=14\text{nó}$, usados em **TJ**, à semelhança do observado na realidade. O rumo inicial em graus, usado em **TJ**, é obtido após se ter definido o destino geográfico de cada evento, sobre a base de menor dimensão do polígono. O cálculo da próxima posição de cada evento é obtido aplicando erros aleatórios de valor máximo de 2nó e 10° , nos valores de velocidade e rumo respetivamente.
- **Dinâmica das plataformas não tripuladas.** Tendo as plataformas não tripuladas uma curta autonomia, considera-se a existência de uma base fixa situada no centro da base menor do polígono. A posição da base está inscrita em **TP**. No início da simulação todas as plataformas disponíveis encontram-se na base, a ela regressando quando não têm alvo atribuído. A velocidade da plataforma decorre das capacidades dos atuais modelos disponíveis na atualidade, sendo considerado um leque de velocidades entre os 30 e os 45nó . A velocidade $v_3=\{30,37.5,45\}$, prevista em **TP**, mantém-se fixa durante a simulação. Os rumos são calculados instante a instante, de modo a garantir a interceção de 2ª ordem do evento. Serão testadas diferentes quantidades de plataformas de forma a analisar o desempenho das regras de decisão.

Quadro 19. Resumo dos cenários

Variáveis com valores fixos em todas as simulações		
Característica do cenário	Subaquático	Superfície
Período	30.000ts, simulando 125horas de tempo real	
Polígono	Trapezoide isósceles, bases de 4nm e 1nm, altura 3nm. Área crítica coincidente com a base de 1nm.	
Geração geográfica	Eventos gerados de forma aleatória sobre a base maior do polígono	
Atividades	Mergulho, mamíferos marinhos	Mercante, pesca, recreio
Dinâmica de eventos. Velocidade	Eventos com velocidade aleatória entre $v_1=0.5$ e $v_2=2$ nó	Eventos com velocidade aleatória entre $v_1=6$ e $v_3=14$ nó
Dinâmica de eventos. Rumo	Destino gerado de forma aleatória sobre a base menor do polígono. Rumo calculado entre posição atual e destino	
Dinâmica de plataformas. Origem e rumo.	Plataformas utilizam base de apoio situada no centro da base menor do polígono. Interceção de 2ª ordem para se aproximarem dos eventos	
Análise de sensibilidade das regras de decisão		
Geração temporal de eventos	Distribuição exponencial do intervalo (em ts) entre eventos, $\mu \in \{1,2,3,4,5,6,7,8,9,10\}$	
Quant. de plataformas	$n \in \{2,3,4,5\}$	
Velocidade plataformas	Velocidade, $v_3 \in \{6,8,10\}$	Velocidade, $v_3 \in \{30,37.5,45\}$

3.2.5 Experiência 1

Aqui se descreve esquematicamente a experiência realizada para teste de regras de atribuição de tarefas a plataformas móveis não tripuladas:

Para todo $\mu \in \{1,2,3,4,5,6,7,8,9,10\}$

Gerar contactos com $v_1=0.5$ e $v_2=2$ nó ou $v_1=6$ e $v_3=14$ nó

Para todo $n \in \{2,3,4,5\}$

Para todo $v_3 \in \{6,8,10\}$ ou $v_3 \in \{30,35,40\}$

Para todas as regras de decisão $\in \{ \text{FIFO-MOO}, \dots, \text{SPT-BOO} \}$

Para todos os instantes $t=ts, 2ts, 3ts, \dots, 30.000*ts$

Ativar contactos nascidos no instante atual

Movimentar contactos e decidir da passagem para eventos

Alterar estado de contactos chegados à área crítica

Decidir atribuições de acordo com a regra de decisão atual

Movimentar plataformas

Classificar eventos

Libertar plataformas

Guardar resultados por instante

Guardar resultados por regra

Guardar resultados por velocidade da plataforma

Guardar resultados por quantidade de plataformas

Guardar resultados por velocidade dos contactos

Guardar resultados por densidade de navegação.

3.2.6 Resultados

A aplicação desenvolvida (figura 22) permite a visualização da atividade portuária e valor das variáveis assumidas em cada simulação, para efeitos da verificação da correta aplicação das regras de decisão. A análise dos resultados é visível nas figuras 23 e 24, onde são mostrados os desempenhos das regras de decisão testadas. Verifica-se assim que a partir de determinada densidade de eventos,

qualquer regra consegue sucesso absoluto com a mesma quantidade de plataformas, só que à custa de diferentes cargas de voo. Para a elaboração dos resultados da figura 25, foram corridas e gravadas simulações para todos os valores de regras, velocidades, tipos e quantidades de plataformas.

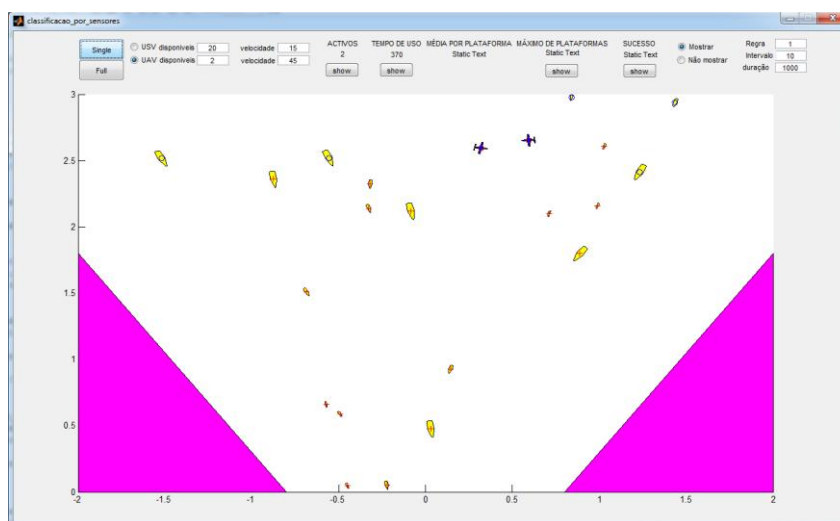


Figura 22. Atividade portuária e plataformas aéreas em classificação

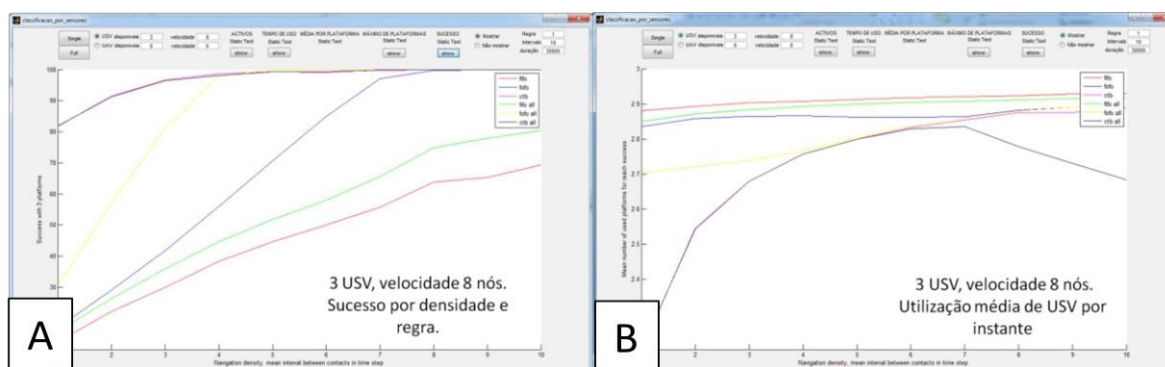


Figura 23. Resultados para 3 plataformas de superfície.

A: sucesso na classificação; B: utilização média de plataformas por instante de tempo.

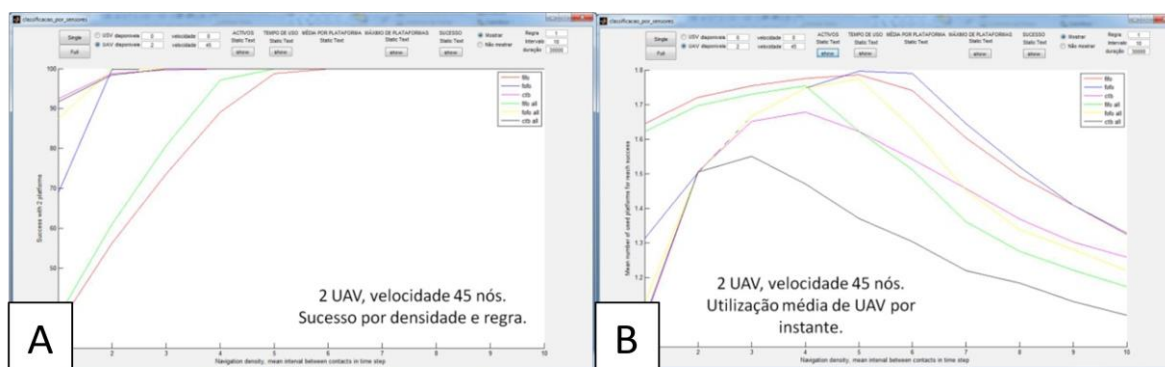


Figura 24. Resultados para 2 plataformas aéreas.

A: sucesso na classificação; B: utilização média de plataformas por instante de tempo.

Os indicadores de sucesso e tempo médio de uso das plataformas foram guardados numa matriz com 5 índices, designadamente “regras de decisão”, “velocidades”, “quantidades”, “densidades” e “indicadores”. Não sendo possível representar as seis dimensões, foram selecionadas como eixos principais a densidade de contactos e a velocidade disponível das plataformas. Para cada par da

combinação de valores considerados, foi encontrada a menor quantidade de plataformas para conseguir o maior sucesso, registrando-se a regra utilizada. Caso existam mais regras com o mesmo sucesso, são igualmente registradas.

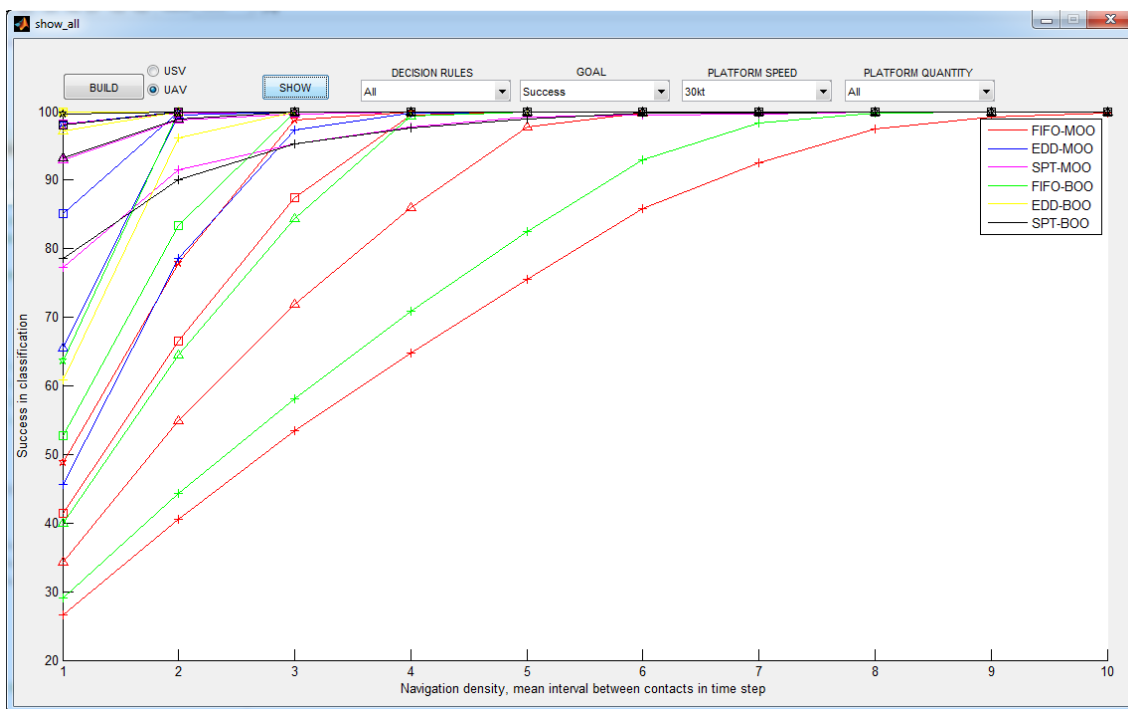


Figura 25. Resultados para uma plataforma aérea com velocidade de 30nó
A cor da linha indica a regra e o símbolo a quantidade de plataformas.

Os quadros 20 e 21 apresentam os resultados finais da experimentação, para o objetivo principal de sucesso e o secundário de minimização de plataformas usadas, respetivamente.

Quadro 20. Sucesso do UAV.

Função da densidade da navegação, velocidade e quantidade de plataformas, regra de decisão.

μ	UAV (plataformas aéreas)								
	Velocidade de cruzeiro das plataformas disponíveis, v_3 (nó)								
	Regras: 1=FIFO-MOO, 2=EDD-MOO, 3=SPT-MOO, 4=FIFO-BOO, 5=EDD-BOO, 6=SPT-BOO.								
	30			37.5			45		
	UAV #	Sucesso %	Regra	UAV #	Sucesso %	Regra	UAV #	Sucesso %	Regra
1	4	100	5	4	100	5	3	100	5
2	3	100	5	3	100	2,5	2	100	5
3	3	100	2,5	2	100	2,5	2	100	2,5
4	2	100	5	2	100	2,5	2	100	2,5
5	2	100	5	2	100	2,3,5	2	100	2,3,5,6
6	2	100	2,5	2	100	2,5,6	2	100	2,3,4,5,6
7	2	100	2,5	2	100	2,3,4,5,6	2	100	1,2,3,4,5,6
8	2	100	2,5	2	100	1,2,3,4,5	2	100	1,2,3,4,5,6
9	2	100	2,3,5	2	100	1,2,3,4,5,6	2	100	1,2,3,4,5,6
10	2	100	2,3,4,5	2	100	1,2,3,4,5,6	2	100	1,2,3,4,5,6

Pode observar-se que enquanto para UAV as regras 2 e 5 são as mais aconselhadas, já para USV são as regras 3 e 6. As razões prendem-se essencialmente com a velocidade da navegação, que no caso dos UAV apresentam um intervalo de variação muito elevado, sendo que as mais rápidas se

movimentam quase a metade da velocidade das plataformas de vigilância. A necessidade de maior número de USV está ligada à relação entre a dimensão da área e a velocidade das plataformas.

Quadro 21. Sucesso do USV.

Função da densidade da navegação, velocidade e quantidade de plataformas, regra de decisão.

μ	USV (plataformas de superfície)								
	Velocidade de cruzeiro das plataformas disponíveis, v_3 (nó)								
	Regras: 1=FIFO-MOO, 2=EDD-MOO, 3=SPT-MOO, 4=FIFO-BOO, 5=EDD-BOO, 6=SPT-BOO.								
	6			8			10		
	USV #	Sucesso %	Regra	USV #	Sucesso %	Regra	USV #	Sucesso %	Regra
1	5	91.7	3	5	97.4	6	5	99.1	3
2	5	97.5	6	5	99.4	3	5	100	6
3	5	99.4	3	5	100	6	5	100	3,6
4	5	99.9	6	5	100	6	4	100	6
5	5	100	3,6	4	100	6	3	100	3
6	5	100	3	4	100	3,6	3	100	3,6
7	5	100	3,6	3	100	6	3	100	3,6
8	5	100	3,6	3	100	3	3	100	3,6
9	4	100	3,6	3	100	3,6	2	100	6
10	4	100	3,6	3	100	3,6	2	100	3

Existindo um terceiro objetivo, o de minimizar o tempo de uso das plataformas, ele será aplicado apenas nas situações em que várias regras conseguem o mesmo sucesso com o mesmo número de plataformas. Cumprem-se assim os três objetivos, definindo para cada par de valores das variáveis densidade e tipo de plataforma qual o número de veículos e qual a regra a aplicar para se conseguir o maior sucesso com o menor tempo de uso. O resultado final é apresentado no quadro 22, sendo que as regra 1 e 2, FIFO-MOD e EDD-MOD, nunca foram selecionadas.

Quadro 22. Definição da melhor regra a usar para cada cenário

μ	Velocidade de cruzeiro das plataformas disponíveis, v_3 (nó)											
	Regras: 1=FIFO-MOO, 2=EDD-MOO, 3=SPT-MOO, 4=FIFO-BOO, 5=EDD-BOO, 6=SPT-BOO.											
	UAV						USV					
	30		37.5		45		6		8		10	
	UAV #	Regra	UAV #	Regra	UAV #	Regra	USV #	Regra	USV #	Regra	USV #	Regra
1	4	5	4	5	3	5	5	3	5	6	5	3
2	3	5	3	5	2	5	5	6	5	3	5	6
3	3	5	2	5	2	5	5	3	5	6	5	6
4	2	5	2	5	2	5	5	6	5	6	4	6
5	2	5	2	3	2	6	5	6	4	6	3	3
6	2	5	2	6	2	6	5	3	4	6	3	6
7	2	5	2	6	2	6	5	6	3	6	3	6
8	2	5	2	4	2	6	5	6	3	3	3	6
9	2	3	2	6	2	6	4	6	3	6	2	6
10	2	4	2	6	2	6	4	6	3	6	2	3

3.2.7 Sensibilidade das regras face ao polígono

Considerando apenas o uso de UAV, foi desenhado um novo cenário para verificação da validade das regras face ao ambiente. Recorrendo aos cenários discutidos no capítulo 2, será testado o cenário presente na figura 26 B, tendo o quadrado 4nm de lado. As restantes variáveis mantêm-se idênticas às anteriormente testadas, sendo resumidas no quadro 23. A ameaça tem origem em todos os sectores em torno da área crítica, a qual coincide com a plataforma mãe dos veículos usados. É

uma situação que ocorre normalmente em áreas não sujeitas à influência costeira, onde a plataforma mãe é normalmente um navio.

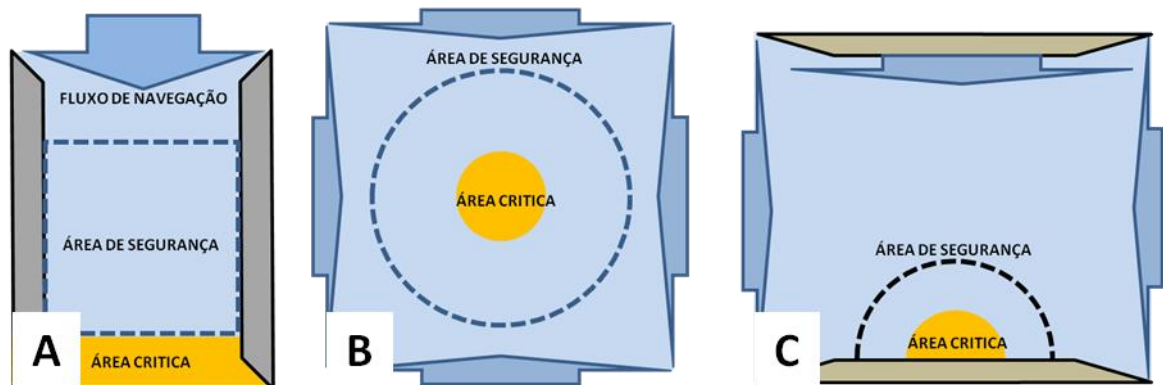


Figura 26 Cenários apresentados no capítulo 2

Quadro 23. Cenário de superfície com aproximação omnidirecional

Variáveis constantes em todas as simulações	
Característica do cenário	Superfície
Período	30.000ts, simulando 125horas de tempo real
Polígono	Quadrado de 4nm de lado
Geração geográfica	Eventos gerados de forma aleatória sobre os lados do quadrado
Atividades	Mercante, pesca, recreio
Dinâmica de eventos. Velocidade	Eventos com velocidade aleatória entre $v_1=6$ e $v_3=14nó$
Dinâmica de eventos. Rumo	Destino gerado de forma aleatória sobre o lado oposto
Dinâmica de plataformas.	Plataformas utilizam base de apoio situado no centro da área
Análise de sensibilidade das regras de decisão	
Geração temporal de eventos	$\mu \in \{1,2,3,4,5,6,7,8,9,10\}$
Quantidade de plataformas	$n \in \{2,3,4,5\}$
Dinâmica de plataformas. Velocidade	Velocidade, $v_3 \in \{30,37.5,45\}$

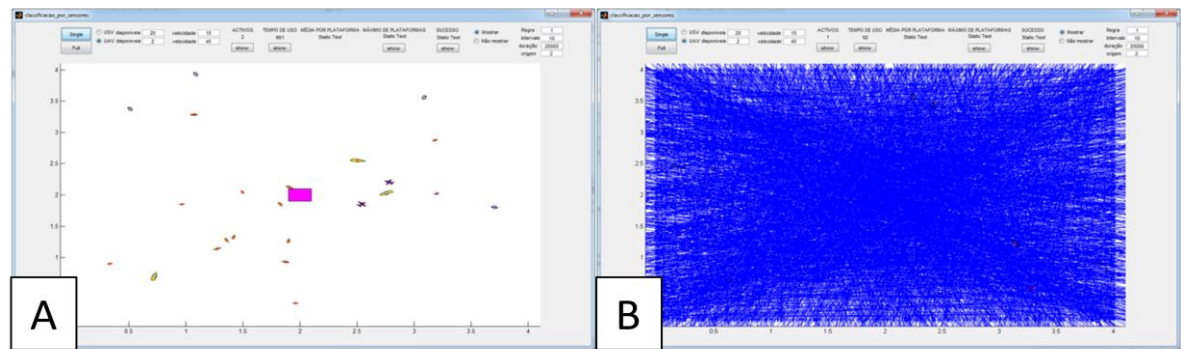


Figura 27. Utilização do simulador.

A, o panorama por instante, observando-se a evolução dos diversos agentes. B, uma imagem com os locais de nascimento e rotas usadas por todas as embarcações neutras que utilizam a área.

São simulados automaticamente 30.000ts para todas as combinações de valores de regras, μ , n e v_3 , sendo registados o sucesso e o tempo de voo por veículo usado (UAV). Os resultados são explorados usando a ferramenta apresentada na figura 28. O exemplo apresentado permite observar o sucesso das regras quando se dispõe de apenas dois UAV com velocidade de cruzeiro de 30nó. É claramente visível que duas regras são francamente mais aconselhadas do que as restantes, as SPT-MOO e SPT-BOO.

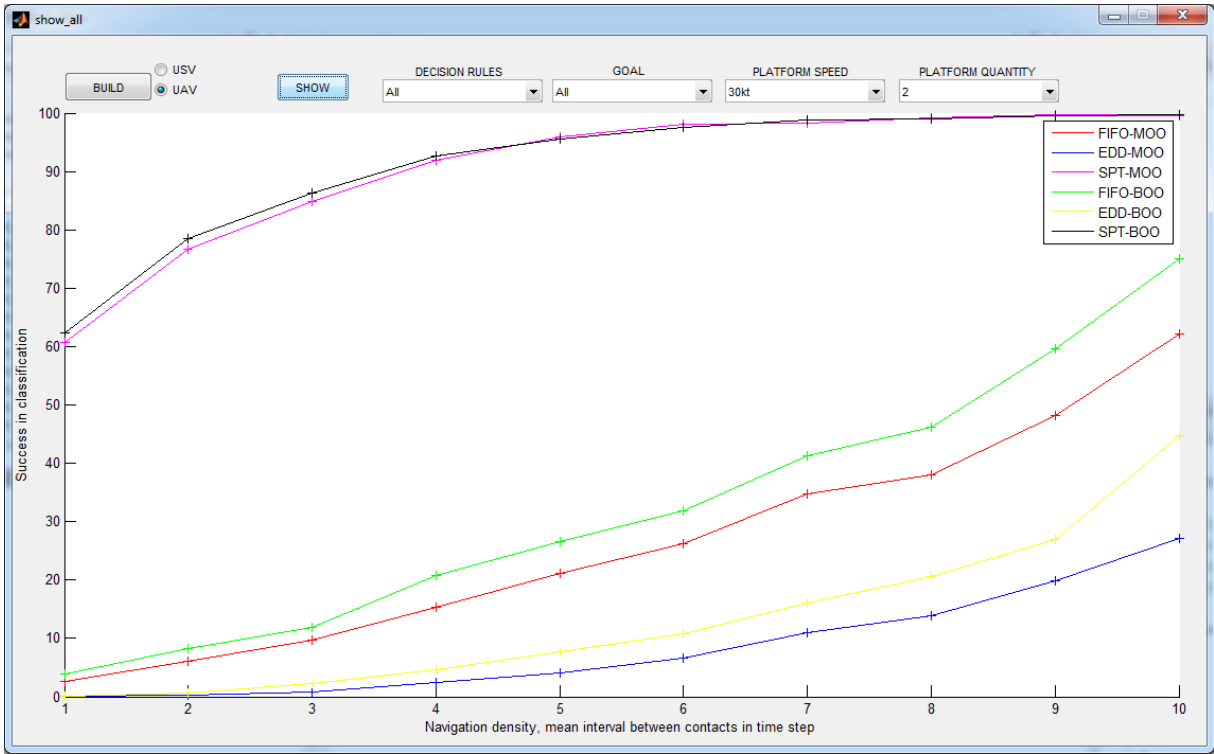


Figura 28. Visualização de resultados para 2 UAV, 30nó

Para efeitos de representação da melhor regra, considerando como prioritário o sucesso e secundário o tempo de voo médio, foi obtido o quadro 24, conseguido através da ferramenta de visualização de resultados.

Quadro 24. Resumo dos resultados

μ	UAV (plataformas aéreas)								
	Velocidade de cruzeiro das plataformas disponíveis, v_3 (nó)								
	Ameaça omnidirecional, plataforma base no centro, área de 16nm ²								
	Regras: 1=FIFO-MOO, 2=EDD-MOO, 3=SPT-MOO, 4=FIFO-BOO, 5=EDD-BOO, 6=SPT-BOO.								
	30			37.5			45		
	UAV #	Sucesso %	Regra	UAV #	Sucesso %	Regra	UAV #	Sucesso %	Regra
1	5	97	3	5	99	3	5	100	3
2	5	100	6	5	100	6	5	100	3,6
3	5	100	6	4	100	6	4	100	3,5,6
4	4	100	3,6	3	100	6	3	100	3,6
5	4	100	3,4,5,6	3	100	3,6	3	100	3,4,5,6
6	4	100	3,4,5,6	3	100	4,5,6	3	100	1,2,3,4,5,6
7	3	100	6	3	100	2,3,4,5,6	2	100	3,6
8	3	100	3,4,5,6	3	100	1,2,3,4,5,6	2	100	3,4,5,6
9	3	100	3,4,5,6	3	100	1,2,3,4,5,6	2	100	1,2,3,4,5,6
10	3	100	3,4,5,6	2	100	3,6	2	100	1,2,3,4,5,6

3.2.8 Conclusão

A aplicação das regras definidas no quadro 22, num cenário real e no simulador integrado é exemplificada na figura 29, num cenário onde se dispõe apenas de plataformas aéreas com velocidade de cruzeiro de 30nó. Com dois picos de densidade de navegação muito elevada, o número de plataformas e regras a usar vai variando ao longo do dia, permitindo assim uma adequada gestão logística do material, permitindo a carga das baterias e manutenção programada, mesmo durante a

operação. Estas preocupações com a gestão da manutenção de equipamentos e baterias não são contempladas no simulador, embora exista a sua necessidade em operações reais.

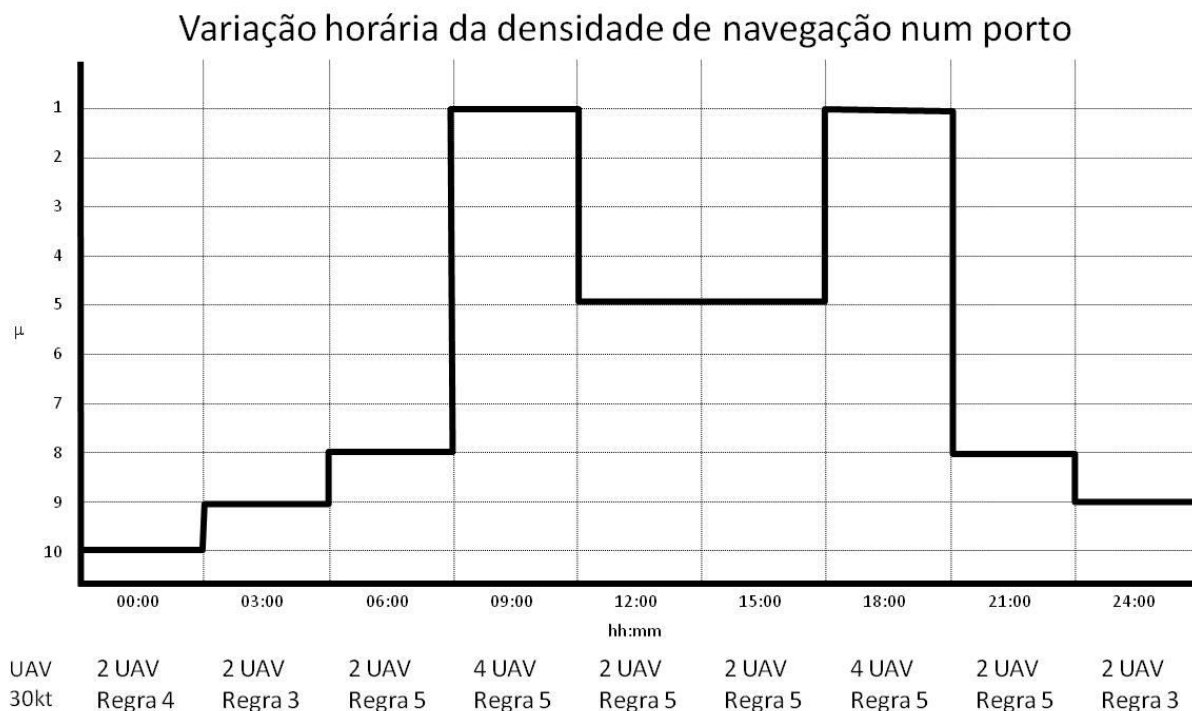


Figura 29. Necessidade de UAV ao longo do dia.

Variação da densidade de navegação portuária, necessidades do dispositivo e regras de empenhamento.

As regras são extremamente influenciadas pelo polígono e eixo da ameaça. As regras vencedoras para uso por UAV, com apenas um eixo de ameaça, são francamente desaconselhadas para situações onde a ameaça é omnidirecional, e vice-versa. Em resumo, as regras de decisão foram testadas em cenários caracterizados por:

- Variáveis de simulação com valor fixo: t_s de 15s, duração da simulação de 30.000ts e período para obtenção de indicadores de 20.000ts;
- Limites geográficos: polígono trapezoide isósceles, bases de 4nm e 1nm, altura 3nm; polígono quadrado com 4nm de lado; sensores com alcance de 200jj;
- Variáveis aleatórias testadas: características das plataformas, com velocidade de cruzeiro $v_3 \in \{30, 37.5, 45\}$ nó;
- Variáveis adversariais com valor obtido aleatoriamente, dentro de intervalo fixo: local de origem, velocidade e rumo dos eventos;
- Variáveis adversariais testadas: densidade dos eventos, intervalo obtido a partir de uma distribuição exponencial negativa de $\mu \in \{1, \dots, 10\}$;
- Variáveis de decisão com valor fixo: base das plataformas;
- Recursos testados: quantidade de plataformas.

3.3 EXPERIMENTADOR DE PLATAFORMAS TRIPULADAS

Considerando que as embarcações tripuladas são atualmente o único meio de garantir a evolução da classificação de um evento POSSTER, seja para PROBTER seja para NTER, é necessário decidir, em cada instante:

“Que operações devem ser atribuídas às embarcações tripuladas, de forma a evitar a chegada de contactos terroristas à área crítica? “

Na secção 3.2. foi desenvolvido um experimentador de regras para resolver o problema de classificação de eventos por plataformas não tripuladas. Conforme revisto na secção 3.1., diversas heurísticas foram já desenvolvidas para resolver problemas OP, JSSP e VRP em tempo real, sendo possível considerar a sua possível aplicação em problemas de classificação de eventos. Desconhece-se no entanto o seu uso em sistemas **C2** de operações de segurança portuária. Mesmo existindo algum país que disponha de tal facilidade, desconhece-se se estaria disponível para ser empregue em cenários externos, onde os sensores e operadores pertencem a países distintos. Por esse motivo, os experimentadores pretendem desenvolver um conjunto de regras que permita a sua fácil e rápida adaptação a qualquer cenário real, independentemente do país de origem dos utilizadores e da marca e modelo dos sensores e plataformas. As mesmas regras serão implementadas no simulador integrado, permitindo assim copiar as decisões tomadas em ambiente real.

3.3.1 Tarefa e matriz de decisão

Para o experimentador de plataformas não tripuladas, as tarefas atribuídas resumiam-se a aproximar-se de um evento para o classificar ou a regressar à posição de partida. A posição de partida assume-se como estática, apesar de haver atualmente propostas para plataformas móveis, como descrito em Ollero *et al.* [74] ou na página oficial do CMRE (*Center for Maritime Research & Experimentation*). No caso de embarcações tripuladas, com capacidade de vigilância, vistoria presencial e detenção de pessoas, o conjunto de tarefas atribuídas é bastante complexo, variando de instante para instante.

3.3.2 Estados

Na figura 30 é resumida a tarefa atribuída a uma embarcação tripulada, em que cada estado pode ter várias opções, dependendo da existência ou não de evento alvo.

Sem evento atribuído:

- ESTADO 1.1. Patrulha aleatória no interior da área atribuída, velocidade de cruzeiro (situação padrão, de arranque para todos os cenários onde não esteja considerada a presença de mergulhadores terroristas). Sem duração limite.
- ESTADO 1.2. Patrulha aleatória no interior da área atribuída, velocidade ótima sonar (situação padrão, de arranque para todos os cenários onde esteja considerada a presença de mergulhadores terroristas). Sem duração limite.
- ESTADO 6.1. Regresso ao interior da área atribuída, velocidade máxima (cenários sem mergulhadores terroristas). Sem duração limite.
- ESTADO 6.2. Regresso ao interior da área atribuída, velocidade ótima sonar (cenários com mergulhadores terroristas). Sem duração limite.

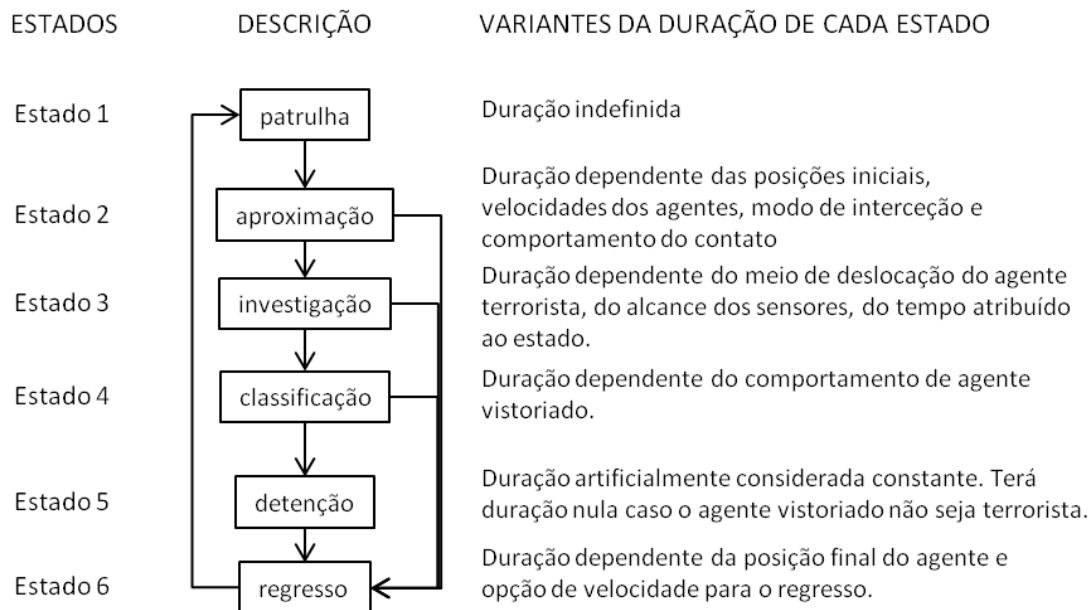


Figura 30. Estado da tarefa

Com evento atribuído:

- ESTADO 2.1. Aproximação de posição futura de evento, rumo de interceção, velocidade máxima. Pode ser interrompida caso o evento saia da área de interesse. Pode variar caso o evento encete ação de fuga. Pode ser interrompida após atingir um limite temporal pré- estabelecido.
- ESTADO 2.2 Aproximação de posição futura de evento, rumo de interceção, velocidade ótima sonar. Pode ser interrompida caso o evento saia da área de interesse. Pode variar caso o evento encete ação de fuga. Pode ser interrompida após atingir um limite temporal pré estabelecido.
- ESTADO 2.3. Aproximação de posição atual de evento, rumo direto, velocidade máxima. Pode ser interrompida caso o evento saia da área de interesse. Pode variar caso o evento encete ação de fuga. Pode ser interrompida após atingir um limite temporal pré estabelecido.
- ESTADO 2.4. Aproximação de posição atual de evento, rumo direto, velocidade ótima sonar. Pode ser interrompida caso o evento saia da área de interesse. Pode variar caso o evento encete ação de fuga. Pode ser interrompida após atingir um limite temporal pré estabelecido.
- ESTADO 3.1. Investigação de evento devido à perda de contacto, velocidade máxima. Pode ser interrompida após atingir um limite temporal pré estabelecido, já que o evento pode ser originado por um contacto falso. Pode variar caso o evento encete ação de fuga.
- ESTADO 3.2. Investigação de evento devido à perda de contacto, velocidade ótima sonar. Pode ser interrompida após atingir um limite temporal pré estabelecido, já que o evento pode ser originado por um contacto falso. Pode variar caso o evento encete ação de fuga.
- ESTADO 4.0. Classificação por vistoria de evento. Duração dependente da atitude colaboracionista da população local.
- ESTADO 5.0. Detenção de evento PROBTER. Duração fixa.

3.3.3 Sucessão de estados

Os estados sucedem-se de forma cíclica, seguindo-se o estado 1 ao estado 6. A sequência de estados da tarefa contempla os seguintes caminhos alternativos:

- Aproximação – regresso: caso seja atribuída classificação sem interesse ou atingida a demora máxima no estado;
- Investigação – regresso: caso seja atribuída classificação sem interesse ou esgotada a demora máxima na tarefa;
- Classificação – regresso: caso seja atribuída classificação NTER;
- Detenção – regresso: caso seja atribuída classificação PROBTTER;

A tarefa pode ser terminada em qualquer instante, se ao meio for atribuído um evento prioritário.

3.3.4 Matriz de decisão

Tendo-se definido a tarefa e estados, as operações das embarcações são determinadas instante a instante, sendo caracterizadas pelo instante, a identificação da plataforma, o estado da tarefa e o evento alvo. O evento com a identificação 0 corresponde à não existência de alvo. A existência do estado da tarefa e respetivos limites temporais permite distinguir a experimentação de plataformas tripuladas da experimentação com plataformas não tripuladas.

Considerando que são corridos t_{max} instantes, com n plataformas, $itot$ eventos gerados e que $q=t_{max}*n$, a matriz de decisão X ($qx4$) tem a seguinte estrutura, onde $1 \leq d \leq q$:

$$\begin{array}{ll}
 X_{d1} \in \{1, \dots, t_{max}\} & (\text{guarda instantes}) \\
 X_{d2} \in \{1, \dots, n\} & (\text{guarda plataformas}) \\
 X_{d3} \in \{1.1, 1.2, \dots, 6.2\} & (\text{guarda estados}) \\
 X_{d4} \in \{0, \dots, itot\} & (\text{guarda eventos alvo})
 \end{array} \quad (3.10)$$

O quadro 25 apresenta um exemplo do uso e interpretação da matriz X , em que $n=2$. Em cada instante, são sumarizadas as ocorrências e decisões.

Quadro 25. Estados de uma tarefa

Dado	Interpretação
Instante 1. Não foram detetados eventos. As embarcações iniciam patrulha nas áreas atribuídas.	
$X(1,1:4)=(1,1,1.1,0)$	No instante 1, a embarcação 1 encontra-se no estado 1.1, patrulha de área, dedicada ao contacto 0.
$X(2,1:4)=(1,2,1.1,0)$	No instante 1, a embarcação 2 encontra-se no estado 1.1, dedicada ao contacto 0.
Instante 2. Reposicionamento de embarcações e cálculo de deteções. Evento originado por sensor fixo, no interior da área de classificação. O sistema de comando e controlo desconhece as características do evento, tendo conhecimento da existência de um contacto radar, com posição, rumo e velocidade. Atribuído o identificador 1 ao contacto. Aplicação de regra de atribuição, selecionada a embarcação 1 em patrulha para classificar o contacto, usando a velocidade máxima autorizada e rumo de interceção.	
$X(3,1:4)=(2,1,2.1,1)$	No instante 2, a embarcação 1 abandona a patrulha e dirige-se para a posição futura do evento 1, rumo de interceção e velocidade máxima.
$X(4,1:4)=(2,2,1.1,0)$	No instante 2, a embarcação 2 mantém a patrulha de área, dedicado ao contacto 0.
Instante 3. Reposicionamento de agentes e cálculo de deteções. Mergulhador detetado por sonar fixo, no interior da área de classificação. O sistema de comando e controlo desconhece as características do mergulhador, tendo apenas conhecimento da existência de um contacto sonar, com posição, rumo e velocidade. Atribuído o identificador 2 ao evento. Aplicação de regra de atribuição, selecionada a embarcação 1 para classificar o evento 2, usando velocidade ótima sonar e rumo direto; Selecionada a embarcação em patrulha 2 para classificar o evento 1.	
$X(5,1:4)=(3,1,2.2,2)$	Embarcação 1 dirige-se a posição do contacto 2, velocidade ótima sonar e rumo direto.
$X(6,1:4)=(3,2,2.1,1)$	Embarcação 2 abandona a patrulha e dirige-se para a posição futura do contacto 1, rumo de interceção e velocidade máxima.

3.3.5 Formulação

Por simulação, foram testadas 15 regras de empenhamento de plataformas, obtidas a partir da combinação de 3 regras de prioridade de alvos, 2 regras de soluções de interceção e 3 regras para atribuir prioridade a plataformas para efetuar a classificação (desta combinação resultam 18 regras, no entanto são excluídas 3, conforme descrito na secção 3.3.6).

Os objetivos do experimentador de plataformas tripuladas incluem a determinação do sucesso na classificação e da quantidade de plataformas necessárias face às variáveis adversariais e aleatórias do cenário, descritos no quadro 26.

Quadro 26. Funções objetivo

Função	Símbolo	Cálculo
Sucesso na classificação (Entre os eventos gerados no intervalo, cálculo da percentagem dos que foram classificados, recorrendo à matriz TJ)	S_{max}	$\frac{\#\{i: TJ_{i10} = 1 \wedge TJ_{i2} \leq tmax\}}{\#\{i: TJ_{i2} \leq tmax\}}$
Quantidade de plataformas necessárias	N_{max}	$maxXP_t, \forall t \leq tmax$

Em termos de formulação, a estrutura matricial segue a adotada para UAV, com a criação e manutenção de matrizes acompanhando o desenrolar da simulação, com a inclusão de novas variáveis para testar, conforme o quadro 27. Também aqui as dimensões e tipo de polígono serão alterados posteriormente para análise de sensibilidade.

Quadro 27. Características do experimentador de plataformas tripuladas

Variável ou parâmetro		Descrição
Cenário e simulação	Fixos	Time_step (ts) de 15s
		Duração de 30.000ts (125 horas de tempo real)
		Intervalo de leitura 20.000ts
		Polígono: quadrado de 2nm de lado, área crítica numa face, origem dos eventos na face oposta
		Cobertura radar total
		Atividades: Mercante, pesca, recreio
Adversariais	Fixos	Origem e destino obtidos aleatoriamente dentro de intervalo geográfico. Rumo em função da origem e destino.
	A testar	Velocidade $v_1=10nó$
Decisão (durações)	Fixos	Densidade de eventos, gerada com distribuição exponencial negativa com parâmetro $\mu \in \{2,6,10,14,18\}ts$
		Valor máximo de duração da perseguição: 100ts; Valor máximo de duração da investigação: 40ts; Valor máximo de duração da vistoria: 40ts
Decisão (regras)	A testar	Posicionamento do eixo de patrulha das plataformas, perpendicular ao sentido da navegação dos eventos, a variar entre 0.2 e 1.8nm. As bases das plataformas são distribuídas de forma equidistante ao longo do eixo.
		Regras com prioridade de alvos, plataformas e métodos de interceção
Decisão (recursos)	A testar	Quantidade de plataformas, $n \in \{1,...,10\}$
		Velocidade de interceção das plataformas, função da velocidade média dos eventos, $v_{3max}=\lambda v_1, \lambda \in \{1.0,1.1,1.2,...,1.9\}$. As velocidades nos estados de vistoria e investigação sonar são fixas.

Eventos

Seja TJ ($itot \times 10$) uma matriz de situação de eventos. A quantidade de eventos $itot$ dependerá da densidade da navegação e do período temporal $tmax$ especificado para a simulação. Para cada evento estão registados, em coluna, os atributos: identificação única, instante de origem do evento, instante atual, instante previsto para a chegada, coordenadas x e y da posição atual, velocidade

atual, rumo atual, estado atual (0=ativo, 1=terminado com sucesso, 2=terminado sem sucesso) e estado da classificação do evento (0=não classificado, 1= a ser perseguido ou investigado, 2=a ser vistoriado, 3=classificado). O estado atual transita de 0 para 1 quando a posição atual do evento se situar fora do polígono do cenário. O estado de classificação transita de 0 para 3 sempre que uma plataforma o classifique, ficando em 2 durante o processo de vistoria e em 1 durante a aproximação. A vistoria é iniciada quando a plataforma se posicione a uma distância inferior à distância percorrida em cada ts . Os valores da matriz **TJ** são atualizados em cada ts , à exceção das duas primeiras colunas, contendo a identificação do evento e do seu nascimento. O número de linhas aumenta em cada instante, caso sejam gerados novos eventos. Cada evento nasce com a indicação de ativo e não classificado:

$$\begin{aligned}
 TJ_{i1} & a TJ_{i4} & (guarda evento e instantes de nascimento, atual, e morte) \\
 TJ_{i2} & \leq t_{max} & (instantes de nascimento e atual inferiores à duração da simulação) \\
 TJ_{i4} & > TJ_{i2} & (garante que morte sucede ao nascimento) \\
 TJ_{i5}, TJ_{i6} & \in \text{poligono} & (posição de nascimento e atual no interior de polígono) \\
 TJ_{i7} & = v_1 & (velocidade) \\
 TJ_{i8} & \in [r1, r2] & (rumo limitado) \\
 TJ_{i9} & \in \{0,1,2\} & (estado atual) \\
 TJ_{i10} & \in \{0,1,2,3,4\} & (classificação)
 \end{aligned} \tag{3.11}$$

Plataformas de classificação

Seja **TP** ($n \times 13$) uma matriz de situação das plataformas de classificação. Para cada plataforma estão registados, em coluna, os atributos: identificação única da plataforma, instante atual, coordenadas x e y da posição atual, velocidade atual, rumo atual, estado, coordenadas x e y da posição de patrulha, identificação do evento alvo, com o valor 0 reservado para as situações em que não tem alvo atribuído e quatro contadores de tempos, para efeitos da ação de perseguição, investigação, vistoria e detenção. Os valores da matriz **TP** são atualizados em cada instante, perdendo-se a informação detalhada do movimento das plataformas, ficando apenas as ordens guardadas na matriz **X** (o processo será descrito adiante):

$$\begin{aligned}
 TP_{k1} & = k & (identificação da plataforma) \\
 TP_{k2} & < t_{max} & (instante atual) \\
 TP_{k3}, TP_{k4} & \in \text{poligono} & (posição no instante, no interior do polígono) \\
 TP_{k5} & \in \{0,6, v_{3max}\} & (velocidade praticada: pairar, ótima sonar¹⁰ ou máxima¹¹) \\
 TP_{k6} & \in [0, 2\pi[& (rumo da plataforma no instante) \\
 TP_{k7} & \in \{1.1, 1.2, \dots, 6.2\} & (estado atual) \\
 TP_{k8} & = f(n) & (coordenada x dada por $f(n)=2n/(n+1)$) \\
 TP_{k9} & \in \{0.2, \dots, 1.8\} & (coordenada y a ser testada) \\
 TP_{k10} & & (identificação única do evento alvo, obtida de **TJ**) \\
 TP_{k11} & \in \{1, \dots, t_1\} & (contador de instantes de aproximação, limitado a t_1) \\
 TP_{k12} & \in \{1, \dots, t_2\} & (contador de instantes de investigação, limitado a t_2) \\
 TP_{k13} & \in \{1, \dots, t_3\} & (contador de instantes de vistoria, limitado a t_3)
 \end{aligned} \tag{3.12}$$

¹⁰ Devido à turbulência provocada pelo movimento do hélice a partir da velocidade de cavitação, a operação sonar necessita que seja praticada uma velocidade tal que não comprometa o seu funcionamento.

¹¹ Considera-se a velocidade máxima sustentada e não a velocidade máxima absoluta, que apenas pode ser mantida por breves minutos.

Seja **ANC** (p) um vector calculado instante a instante, contendo a identificação de todos os p eventos que, nesse instante, estejam ativos e com a classificação “não classificado”.

Seja **DE** (pxn) uma matriz de demoras para intercepção, com uma coluna por plataforma sem alvo atribuído e uma linha por evento que contenha a indicação de ativo não classificado. A demora para intercepção é obtida pela resolução de (3.3) em ordem a t , à semelhança do experimentador de plataformas não tripuladas.

Seja **DC** (pxn) uma matriz de distâncias para intercepção, com uma coluna por plataforma sem alvo atribuído e uma linha por evento que contenha a indicação de ativo não classificado. A distância é calculada a partir das posições atuais das plataformas e dos eventos selecionados.

As operações de atribuição de plataformas a eventos e mudança de estado da plataforma são definidas instante a instante, constituindo as decisões. Essa informação é guardada na matriz **X**, em que cada instante produz n linhas, uma por plataforma de classificação. A primeira coluna indica a plataforma, a segunda o instante, a terceira o estado da plataforma e a quarta o evento alvo. A matriz **X** é obtida por leitura, instante a instante, da matriz **TP**. Em **X** ficamos com a informação das ordens dadas, em cada instante, às plataformas de classificação, quer seja em termos de estado quer em termos de alvo.

Por ser necessária a contagem de plataformas ativas em cada instante e o tempo de uso por plataforma, é criado um vector **XP** contendo o número de plataformas que por instante não se encontram no estado de patrulha (consideram-se como ativas as plataformas que se encontrem em aproximação a um evento ou de regresso à base):

$$XP_t = \#\{k: TP_{k7} \neq \{1.1, 1.2\}\} \quad (3.13)$$

3.3.6 Regras

Prioridade de alvos

- **Regra FIFO (*first in first out*)**

Em cada instante de tempo, selecionar o evento ativo e com a classificação de “não classificado” com o menor instante de entrada na área de vigilância.

- **Regra EDD (*earliest due date*)**

Em cada instante de tempo, selecionar o evento ativo e com a classificação de “não classificado” com o menor instante de saída da área de vigilância.

- **Regra SDI (*shortest distance*)**

Em cada instante de tempo, selecionar o evento com a classificação de “não classificado” com a menor distância às plataformas disponíveis, utilizando a informação constante em **DC** (matriz do instante com as distâncias entre eventos ativos, não classificados e plataformas sem alvo).

Prioridade das plataformas

- **Regra CTT (*closest to target*)**

Em cada instante, ordenar as plataformas disponíveis pelas menores distâncias aos alvos ativos, com a classificação “não classificado”.

- **Regra EIT (*earliest interception time*)**

Em cada instante, ordenar as plataformas disponíveis pelas menores demoras de interceção aos alvos ativos, com a classificação “não classificado”.

- **Regra CCA (*closest to critical area*)**

Em cada instante, ordenar as plataformas disponíveis pelas menores distâncias à área crítica.

Prioridade do método de interceção

Dependendo dos sistemas de comando e controlo embarcados e em terra, bem como da experiência dos patrões das embarcações, podem ser usados três métodos de interceção: Direto, Futuro e Cinemático. Independentemente do método usado, é necessário implementar ainda uma metodologia para evitar colisões entre agentes no cenário. A implementação e explicação destes métodos são apresentadas no capítulo 6.

Métodos de interceção

Para efeitos específicos de uso pelo simulador, foram considerados três métodos diferentes para a interceção de alvos em movimento, os quais são usados em atividades rotineiras de fiscalização, pelas autoridades portuárias, designadamente:

- Direto: aproa à popa da embarcação alvo;
- Futuro: aproa ligeiramente à proa da embarcação alvo;
- Cinemático: resolve um problema de 2º grau, para obter uma posição de interceção.

Regras de interceção

As embarcações tripuladas dispõem de velocidades muito próximas das embarcações a classificar, sendo que se consideram dois métodos distintos de aproximação. No primeiro, a embarcação tripulada dirige-se à posição atual do evento, no segundo dirige-se a uma posição futura, utilizando no cálculo desta posição a velocidade e rumo atual do evento.

- **Regra 10 (*FIRST ORDER*)**

É utilizado o método direto para a interceção do alvo.

- **Regra 20 (*SECOND ORDER*)**

É utilizado o método cinemático para a interceção do alvo.

Regras integradas

As regras a serem testadas incluem sempre uma regra de prioridade de alvo, uma regra de prioridade de plataforma e um método de interceção. Não são consideradas as regras que incluam uma seleção de plataforma através da menor demora e o método de interceção de 1ª ordem, pelo que se consideram válidas as seguintes 15 regras:

FIFO-10-CTT, FIFO-20-CTT, ~~FIFO-10-EIT~~, FIFO-20-EIT, FIFO-10-CCA, FIFO-20-CCA,
 EDD-10-CTT, EDD-20-CTT, ~~EDD-10-EIT~~, EDD-20-EIT, EDD-10-CCA, EDD-20-CCA,
 SDI-10-CTT, SDI-20-CTT, ~~SDI-10-EIT~~, SDI-20-EIT, SDI-10-CCA, SDI-20-CCA.

3.3.7 Cálculo dos custos

O uso de embarcações tripuladas tem associado um custo muito elevado devido à cadeia logística necessária para a manutenção das operações. Para a obtenção duma estimativa razoável do custo foi

desenvolvido um algoritmo, descrito no capítulo 5, para cálculo do custo de operação a partir da quantidade de embarcações tripuladas, conseguindo-se a informação do quadro 28.

Quadro 28. Custos da operação em função do número de embarcações tripuladas

Embarcações tripuladas	Pessoal (operações, comando, apoio)	Peso (TON) do material a transportar	Volume (m3) do material a transportar	Custo diário (€) (pagamento do pessoal e consumíveis)
1	62	45	590	5405
3	92	53	922	8343
5	120	62	1255	11176
7	151	73	1627	14283
9	180	84	1992	17299

3.3.8 Experiência 2

Aqui se descreve esquematicamente a experiência realizada para teste de regras de atribuição de tarefas a plataformas tripuladas:

Para todo $\mu \in \{2,6,10,14,18\}$

Gerar contactos com $v_i = 10n\acute{o} + e$ ($e < 1n\acute{o}$)

Para todo o coeficiente $\lambda \in \{1.0, 1.1, \dots, 1.9\}$

Para todo $n \in \{1,2,3,4,5,6,7,8,9,10\}$

Para todo o eixo de patrulha $= \{0.2, \dots, 1.8\}$

Para todas as regras de decisão $\in \{ \text{FIFO-10-CTT}, \dots, \text{SDI-20-CCA} \}$

Para todos os instantes $t = t_s, 2t_s, 3t_s, \dots, 30.000 * t_s$

Ativar eventos nascidos no instante atual

Movimentar eventos ativos e que não estejam a ser vistoriados

Alterar estado de eventos chegados à área crítica

Ordenar eventos pela regra de decisão atual

Ordenar plataformas pela regra de decisão atual

Movimentar plataformas em perseguição pela regra de decisão atual

Movimentar plataformas em investigação, patrulha, regresso

Incrementar um instante nas plataformas em busca, perseguição, vistoria.

Libertar plataformas ultrapassando limites

Guardar resultados por instante

Guardar resultados por regra

Guardar resultados por eixo de patrulha

Guardar resultados por quantidade de embarcações de patrulha

Guardar resultados por velocidade das embarcações do dispositivo face à navegação

Guardar resultados para toda a densidade de navegação

3.3.9 Resultados

Análise de variáveis. Tendo-se proposto a inclusão de cinco variáveis (n , eixo, regra, λ , μ) para teste, procedeu-se à análise individual da capacidade explicativa do sucesso, fixando-se em valores intermédios cada uma das quatro restantes variáveis.

Da figura 31, verifica-se que a variação de n (quantidade de embarcações) e λ (velocidade relativa entre embarcações e eventos) permite que o sucesso varie entre 15 e 100%. Já a variação do eixo apenas consegue uma variação do sucesso entre 7.5% e 9.5%. Caso se assuma um eixo de patrulha situado no centro da área a patrulhar (1nm da base), a variação máxima observada não supera o 1% de sucesso. Como o teste foi efetuado mantendo-se fixa a regra, foram feitos mais testes variando as regras de decisão, estando os resultados presentes na figura 32. Foram igualmente testadas diversas densidades de navegação, mantendo-se a fraca capacidade explicativa do posicionamento do eixo. Por esse motivo, foi assumido que o eixo de patrulha seria fixado, com um valor de 1nm, conseguindo-se assim reduzir a dimensionalidade do problema.

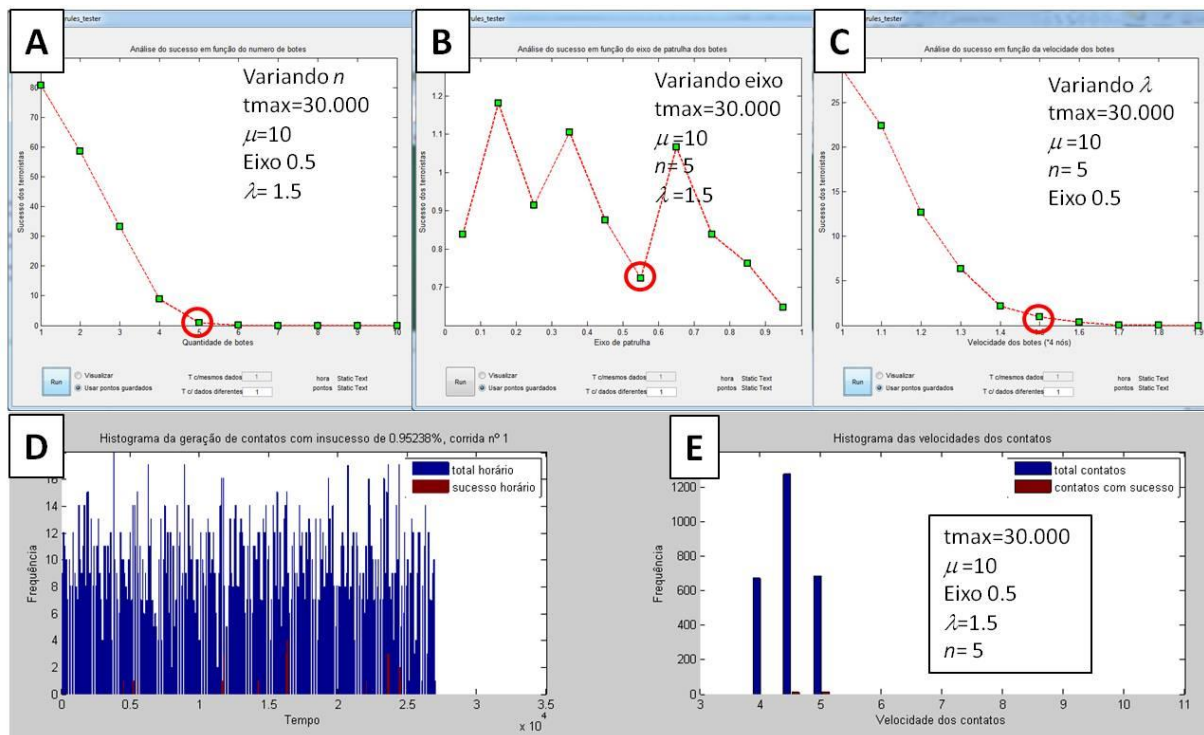


Figura 31. Sucesso na classificação fixando quatro variáveis.

A: sucesso em funções da quantidade de botes; B: sucesso em função da posição do eixo de patrulha. C: sucesso em função da densidade de eventos; D: eventos gerados por instante; E velocidades dos eventos.

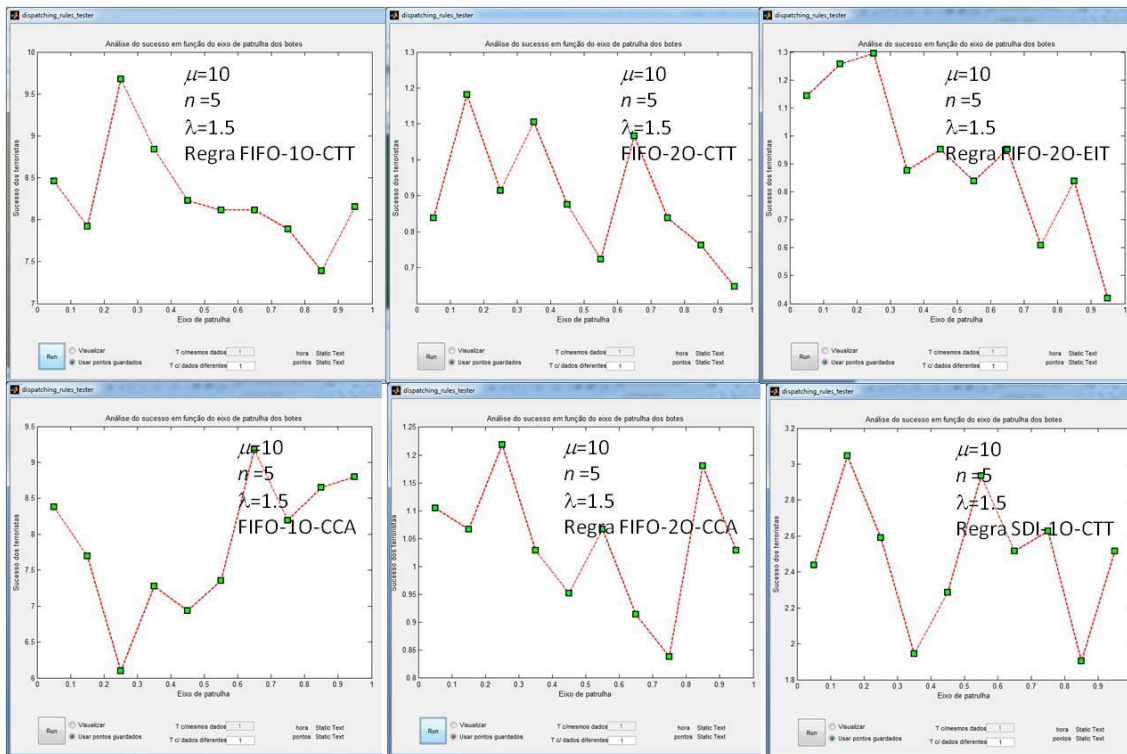


Figura 32. Análise da capacidade explicativa do eixo variando a regra de decisão

Representação de resultados Apesar de se ter eliminado uma das variáveis inicialmente proposta, mantém-se o problema de representar o sucesso como função de quatro variáveis. A figura 33 apresenta os resultados obtidos fixando-se duas regras de decisão integradas. De modo a conseguir comparar o resultado de todas as regras, foram utilizados dois procedimentos. O primeiro, em forma de quadro, é apresentado na figura 34, onde cada célula apresenta a melhor regra em função de n , μ e λ . O segundo, recorrendo a uma ferramenta de exploração de resultados, na figura 35, permite navegar ao longo de várias densidades de navegação e factores de velocidade, apresentando para cada par selecionado de μ e λ qual o desempenho das diversas regras testadas face ao número de embarcações disponíveis. A ferramenta recorre ainda ao calculador do quadro 28, associando custos a embarcações usadas.

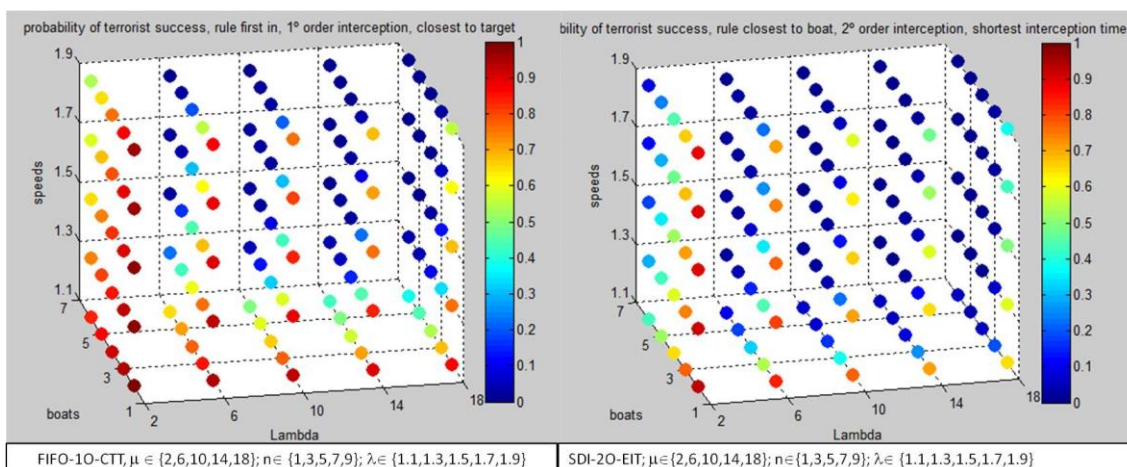


Figura 33. Sucesso em função de n λ μ , (código de cores).

Uso do visualizador de resultados. Do ponto de vista do utilizador de nível estratégico, a ferramenta da figura 35 permite indicar qual o risco associado a um determinado orçamento para a operação. Do ponto de vista do utilizador tático, a ferramenta permite obter qual a tática a usar para cada situação do cenário, conforme forem sendo observadas diferentes características da navegação, tais como a densidade e a velocidade média.

n = 1													n = 3													regra		
μ													μ															
2,00 6 10 14 18													2,00 6 10 14 18															
1.1	92,08	7	83,06	7	76,30	7	70,06	7	65,00	7			1.1	76,69	7	51,50	7	36,84	7	24,07	7	17,16	10			1	FIFO-10-CTT	16
1.3	90,88	6	79,68	7	70,59	7	64,03	7	58,20	7			1.3	73,48	6	42,61	7	21,64	7	10,25	10	5,35	7			2	FIFO-20-CTT	32
1.5	89,72	6	76,34	7	65,56	7	57,20	7	48,32	7			1.5	69,67	6	33,65	8	11,62	8	3,20	10	1,51	8			3	FIFO-20-EIT	32
1.7	88,80	6	73,46	7	61,94	7	51,71	7	42,42	7			1.7	66,54	6	24,89	7	6,59	8	1,49	10	0,21	13			4	FIFO-10-CCA	14
1.9	88,05	6	70,93	7	58,06	7	46,32	7	37,27	7			1.9	64,75	6	20,73	7	3,43	7	0,64	2	0,00	12			5	FIFO-20-CCA	27
n = 5													n = 7													6	SDI-10-CTT	30
μ													μ													7	SDI-20-CTT	76
2,00 6 10 14 18													2,00 6 10 14 18													8	SDI-20-EIT	61
1.1	62,47	7	29,46	7	13,14	7	5,02	7	1,99	10			1.1	49,63	7	15,89	8	3,62	10	1,23	10	0,62	10			9	SDI-10-CCA	18
1.3	56,95	7	14,17	8	2,70	8	0,43	12	0,00	3			1.3	41,20	7	2,38	7	0,27	3	0,00	2	0,00	2			10	SDI-20-CCA	57
1.5	50,82	6	4,23	7	0,50	7	0,00	10	0,00	2			1.5	33,30	7	0,21	7	0,00	13	0,00	2	0,00	1			11	EDD-10-CTT	17
1.7	46,08	6	2,26	7	0,00	12	0,00	2	0,00	1			1.7	26,93	6	0,00	2	0,00	2	0,00	1	0,00	1			12	EDD-20-CTT	32
1.9	42,37	6	1,03	7	0,00	2	0,00	1	0,00	1			1.9	22,45	8	0,00	2	0,00	2	0,00	1	0,00	1			13	EDD-20-EIT	33
n = 9																										14	EDD-10-CCA	13
μ																										15	EDD-20-CCA	31
2,00 6 10 14 18																												
1.1	38,56	7	6,72	7	1,22	5	0,53	10	0,55	5																		
1.3	27,79	8	0,41	8	0,04	3	0,00	2	0,00	2																		
1.5	17,08	8	0,00	15	0,00	2	0,00	1	0,00	1																		
1.7	10,21	7	0,00	2	0,00	2	0,00	1	0,00	1																		
1.9	6,90	6	0,00	1	0,00	1	0,00	1	0,00	1																		

Figura 34. Apresentação do insucesso obtido pelas regras, em função de n , λ e μ .

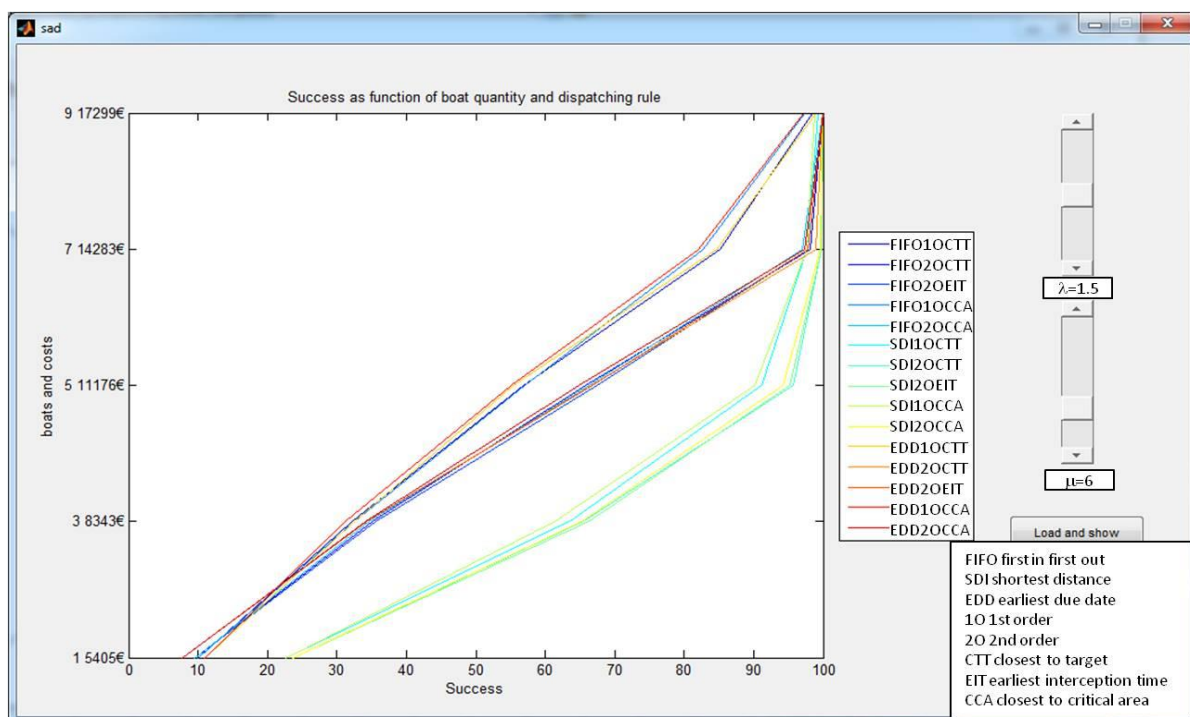


Figura 35. Ferramenta de exploração de dados

3.4 CONCLUSÕES

As regras simples para selecionar ou ordenar eventos, plataformas e métodos de interceção podem variar significativamente em eficiência para as mesmas condições de cenário. As regras foram selecionadas de modo a poderem ser adotadas pelo comando tático, sem necessidade de qualquer aparato informático, dispondo apenas dos dados fornecidos pelos sensores. Desse modo, pode ser incorporada na simulação a sequência de ordens a dar quer a plataformas de vigilância quer a embarcações tripuladas, permitindo uma superior aproximação da realidade.

O teste de regras simples pode ser expandido para outros setores de interesse público ou militar, onde o acesso a ferramentas de apoio à decisão não possa ser facilmente incorporado, requeira a existência de orçamento não disponível ou o intervalo entre eventos não suporte a existência de algoritmos cuja execução se revele morosa.

O uso de calculadores de custos permite ainda um correto aconselhamento ao utilizador de nível estratégico, medindo as consequências de um corte no orçamento disponível para a operação.

3.5 CONTRIBUTOS

Como principais contributos reportados neste capítulo, destacamos a conceção e desenvolvimento de:

- Ferramenta para teste e avaliação de doutrina no emprego de plataformas aéreas e de superfície em tarefas de identificação num ambiente portuário;
- Ferramenta para teste e avaliação de doutrina no emprego de plataformas de superfície em tarefas de classificação num ambiente portuário.

CAPÍTULO 4. COBERTURA POR SENSORES FIXOS

No capítulo 2 foram definidas variáveis e construídos cenários. O capítulo 3 dedicou-se ao desenvolvimento de regras de empenhamento de plataformas, assumindo que a detecção por sensores fixos se encontrava otimizada e existia um algoritmo que permitia a obtenção de custos de operação a partir da quantidade de plataformas tripuladas necessária. O presente capítulo tem como finalidade a otimização da cobertura de detecção portuária obtida por sensores ativos fixos, definindo sensores e a sua localização.

4.1 FACTORES A CONSIDERAR NA OTIMIZAÇÃO DA COBERTURA

Pretende-se localizar os sensores disponíveis de modo a obter a maior cobertura possível da área de detecção, sendo carregados pelo utilizador os possíveis locais de instalação, sensores disponíveis e respetivas curvas de probabilidade de detecção acumulada. Para efeitos de cobertura, serão tratados quatro problemas distintos: visibilidade, probabilidade de detecção, risco da não detecção e risco da instalação. Analisados os factores envolvidos, procede-se à construção das matrizes de visibilidade e detecção, com e sem risco associado.

4.1.1 Visibilidade

A partir de um local de instalação possível j , de coordenadas (a,b,z) , a instalação de um radar sobre um mastro de w metros tem uma determinada visibilidade sobre a área de detecção, para um determinado objeto com uma altura exposta h . A altura z é considerada em relação ao nível médio do mar, o mesmo nível usado para plataformas flutuantes. A figura 36 representa um corte vertical sobre um plano unindo uma torre radar e diversos alvos. A topografia do corte mostra uma zona de sombra devido à elevação do cais junto à linha de água (o comprimento de onda dos radares usados segue por padrão uma linha reta). A representação horizontal visível na figura 37 A permite verificar a existência de zonas de sombra em torno da estação radar.

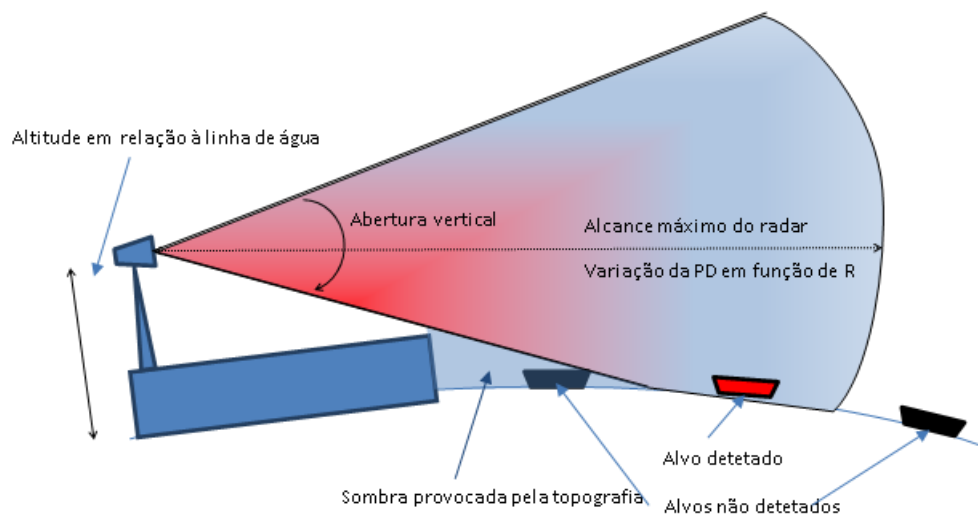


Figura 36 Representação da visibilidade, corte vertical

Suponhamos então que a área para detecção corresponde à zona sombreada da figura 37 B, a qual foi granulada, obtendo-se m quadrículas (o grão g é a dimensão do lado do quadrado), estando o radar colocado numa torre de w metros na posição (a,b,z) , pelo que o sensor fica colocado em $(a,b,z+w)$.

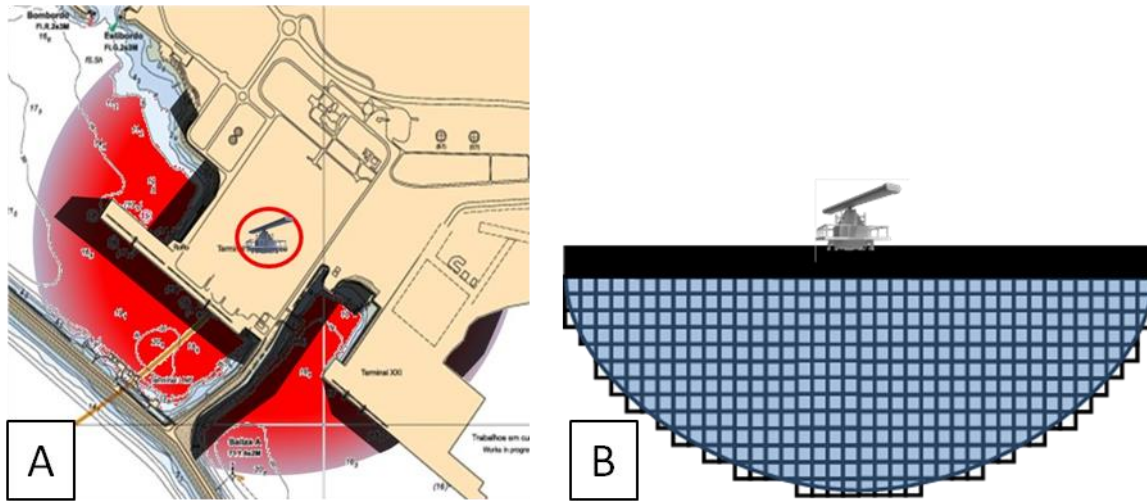


Figura 37 Visibilidade e quadrículas

Numeram-se as m quadrículas para que a informação de visibilidade sobre cada uma seja guardada num vector **visquad** de dimensão $1 \times m$, sendo as coordenadas centrais guardadas numa matriz **posquad**, dimensão $2 \times m$ (considera-se que $z=0$ para as quadrículas da área molhada), contendo a primeira linha as coordenadas x e a segunda as coordenadas y . Recorrendo ao método *Line-of-Sight* entre o sensor em $(a,b,z+w)$ e um alvo de h metros de altura no centro de cada quadrícula $i \in \{1, \dots, m\}$, obtém-se o valor binário da visibilidade, o qual é guardado em **visquad**, $1 \times m$, (valor 1 caso o objeto seja visível, valor 0 caso contrário). Durante o ciclo para cálculo da visibilidade, calcula-se também a distância em linha reta entre o radar e o alvo, necessária para cálculo de probabilidade de deteção e risco:

$$distquad_i = \sqrt{(z+w-h)^2 + (a - posquad(1,i))^2 + (b - posquad(2,i))^2} \quad 1 \leq i \leq m \quad (4.1)$$

A informação da distância obtida é guardada em **distquad**, $1 \times m$. Para obtenção da visibilidade sobre toda a área a cobrir, a partir de um local em terra ou no mar, serão testados três algoritmos, dois baseados em funções existentes na biblioteca MATLAB e um terceiro desenvolvido de raiz para melhorar a rapidez de cálculo.

Método *Line-of-Sight*. A função *Line-of-Sight* (los2) permite verificar se dois pontos são mutuamente visíveis, nas dimensões x,y,z , sendo z a altitude referida à linha de água. Esta função tem ainda a vantagem de entrar em conta com a curvatura da Terra e requer um mapa granulado, com indicação das altitudes das várias quadrículas do terreno. Como requer um grande esforço computacional, foi decidido limitar o traçado da visibilidade apenas à área de deteção.

A partir de um ponto j de possível instalação de sensor, com coordenadas $(a,b,z+w)$, sendo z a altitude da base da plataforma medida em relação à altura média do mar, é necessário verificar se a partir do topo de um mastro com altura w existe uma linha ininterrupta de visão direta para um alvo com altura h situado num ponto i com coordenadas (x',y',z') , sendo que z' é igual a 0, por estar colocado sobre a linha de água (figura 38). Devido à curvatura da superfície terrestre, o alcance máximo em linha reta é dado por:

$$d_{max} = 2.08 \left(\sqrt[3]{h} + \sqrt[3]{z+w} \right) \quad (4.2)$$

sendo d_{max} em milhas náuticas, $(z+w)$ a altura do observador em metros e h a altura do alvo em metros. Para uma altura do observador de 8 metros e uma altura do alvo de 0.5 metros, o alcance visual máximo é de 7nm. Sendo a função *Line-of-Sight* muito pesada em termos computacionais (ver quadro 29), optou-se pelo desenvolvimento de algoritmos alternativos para cálculo da visibilidade.

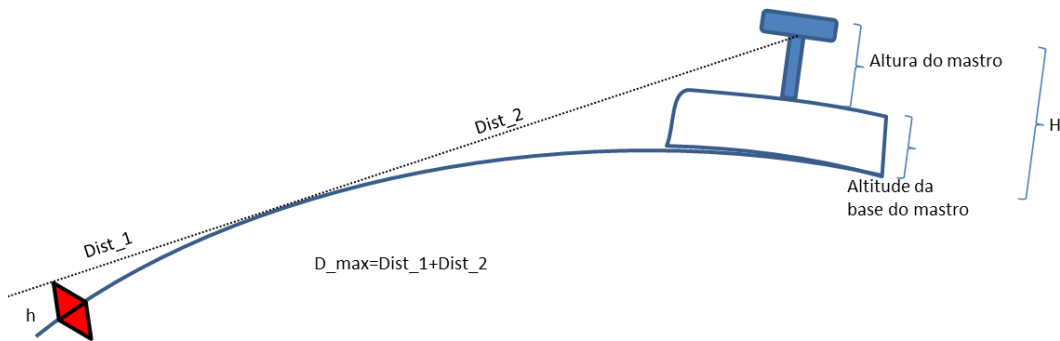


Figura 38. Alcance máximo de detecção devido à curvatura da Terra

Método Polinomial. Entre os pontos j e i é traçado um segmento de reta. Utilizando a função “polyxpoly” em MATLAB, obtêm-se os pontos de interseção entre esse segmento de reta e todas as curvas de nível associadas a altitudes do terreno (na Figura 40 são representados os pontos j, i duas curvas de nível e o segmento de reta a uni-los). Para um ponto de interseção v , obtêm-se a distância ao ponto j , a altitude h_v em v da linha de observação reta entre j e i , e a altitude C_v da curva de nível que contém o ponto v . Caso se observe $h_v > C_v$, a curva de nível não interrompe a visibilidade entre os pontos j e i . Correndo o algoritmo para todos os pontos de interseção, o ponto i só será visível a partir do ponto j se a linha de observação reta não for interrompida por nenhuma curva de nível.

Este algoritmo apenas tem aplicabilidade para distâncias entre i e j inferiores a 6 milhas náuticas, devido a não considerar a curvatura da superfície da terra, sendo mais rigoroso do que o “los2” por considerar curvas de nível. Para cálculo da altitude da linha reta em cada ponto v , função da distância entre i e v , é utilizada a equação (4.3) onde $inc_{dist} = -H/d$, $bias_{dist} = H$ e $H = z + w - h$:

$$h' = d'inc_{dist} + bias_{dist} \quad (4.3)$$

Na figura 39 verifica-se que o radar consegue observar o alvo, ultrapassando a linha de vista o obstáculo colocado pela margem elevada.

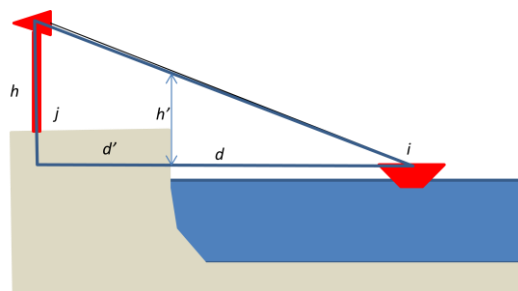


Figura 39 Representação do triângulo unindo o radar e o alvo num foco horizontal

Método de grade. Este método recorre a mapas e posições discretas e à determinação da altitude da linha de visão ao longo do segmento de reta unindo as posições i e j . Na figura 40 estão representados os pontos de um mapa em grade, com coordenadas x,y e com a indicação da altitude do terreno, v , no interior do ponto. Estão ainda representadas curvas de nível, utilizadas no método anterior. O ponto j de instalação do radar está colorido a verde enquanto o ponto i alvo se encontra colorido a vermelho, estando unidos por um segmento de reta que representa a linha de visão. Para todo o j (locais de instalação de sensores) e todo i (locais necessários cobrir com o sensor):

Passo 1: seleccionar um par i,j para obter a visibilidade entre eles. Seleccionar a coordenada de maior variação entre j e i . No exemplo da figura 40, é a dimensão x . Obter o gradiente, ou seja, a variação da coordenada y para uma variação unitária da coordenada x :

$$\text{gradiente} = \Delta y / \Delta x \quad (4.4)$$

A partir do gradiente, obter a hipotenusa de um triângulo retângulo cujos lados são Δx e Δy , com $\Delta x=1$. Seja essa hipotenusa a distância percorrida entre dois pontos intermédios, seguindo o segmento de reta unindo os pontos j e i :

$$\text{distint} = \sqrt[2]{\text{gradiente}^2 + \Delta x^2} = \sqrt[2]{\text{gradiente}^2 + 1} \quad (4.5)$$

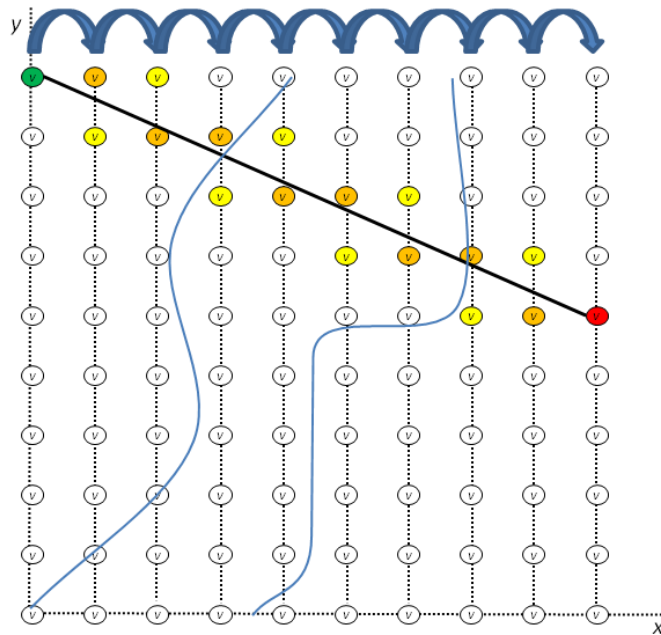


Figura 40 Representação do caminho do algoritmo de cálculo de visibilidade

Passo 2: encontrar as coordenadas de um ponto intermédio, int , entre os pontos j e i , seguindo o segmento de reta que os une. Somar uma unidade à coordenada x do ponto j , obtendo int_x ; Obter uma coordenada int_y resultante da intersecção entre o segmento de reta de visibilidade direta e a coordenada int_x definida anteriormente; utilizando o gradiente, temos:

$$int_y = i_y + \text{gradiente} \quad (4.6)$$

Passo 3: encontrar a altitude do terreno nas coordenadas do ponto int . Selecionar uma de duas opções:

- ➔ Atribuir a altitude do ponto da grade mais próximo (encontrado após arredondar int_y para o inteiro mais próximo), ou seja, obter a altitude do mapa de grade de terreno na posição $(int_x, round(int_y))$;
- ➔ Encontrar a altitude dos dois pontos do mapa de grade que correspondam às coordenadas de $(int_x, \lceil int_y \rceil)$ e $(int_x, \lfloor int_y \rfloor)$; considerando p_{1y} a coordenada y do ponto imediatamente superior e p_{1z} a sua altitude e p_{2y} a coordenada y do ponto imediatamente inferior com altitude p_{2z} , a altitude z do ponto int será então dada por:

$$int_z = \frac{p_{1z}(p_{1y} - int_y) + p_{2z}(int_y - p_{2y})}{p_{1y} - p_{2y}} \quad (4.7)$$

Passo 4: encontrar a altitude da linha de visão à passagem pelo ponto int , utilizando a equação já descrita no método polinomial:

$$h' = d' inc_{dist} + bias_{dist} \quad (4.8)$$

Calcular d' , a distância euclideana entre os pontos i e int , usando:

$$d' = \sqrt{(i_x - int_x)^2 + (i_y - int_y)^2} \quad (4.9)$$

Ou usar em alternativa a equação (4.5), mais económica em termos de computação.

Passo 5: comparar h' com int_z .

- ➔ Caso $h' > int_z$, a linha de vista não é interrompida. Continuar a partir do passo 2 até cobrir todos os pontos intermédios entre j e i . Não havendo mais pontos intermédios, considerar que os pontos i e j são visíveis reciprocamente.
- ➔ Caso contrário ($h' \leq int_z$), a linha de vista é interrompida. Regressar ao passo 1, considerando que os pontos i e j não são visíveis entre si.

Comparação dos métodos. Conforme se pode verificar pelos resultados do quadro 29, o método *Line-of-Sight* usado para cálculo de visibilidades relativas é francamente mais lento que qualquer uma das outras alternativas, tendo resultados equivalentes (para distâncias inferiores a 10nm). Para cálculo das visibilidades será usado o método grade, por ter sido o mais rápido em termos computacionais.

Quadro 29. Comparação de métodos para obtenção de visibilidades

Cálculos para uma localização radar e 1.000 locais na área de deteção (processador Intel® Core™ Duo CPU 3.00GHZ SO W7 64 bits)			
	Método <i>Line of Sight</i>	Método polinomial	Método grade
Tempo computacional (s)	12.607	0.945	0.220

4.1.2 Probabilidade de detecção por quadrícula

A cada modelo k de sensor está associada uma curva de probabilidade de detecção, f_k , função da distância ao alvo, condições atmosféricas, características do emissor, recetor e alvo. Exemplos da curva f_k são apresentados em (4.31) e (4.32). Para facilitar o cálculo, apenas serão considerados sensores em que o emissor esteja integrado com o recetor, utilizando-se apenas a distância como variável independente. Usando as distâncias guardadas em **distquad** (1xm), calculam-se as probabilidades de detecção afetas a cada quadrícula, guardando-as em **pdquad** (1xm):

$$pdquad_i = f_k(distquad_i) \quad 1 \leq i \leq m \quad (4.10)$$

4.1.3 Risco da não detecção

O risco proveniente da não detecção de contacto numa quadrícula $i \in \{1, \dots, m\}$ está relacionado com a capacidade das embarcações tripuladas (botes) do dispositivo efetuarem a sua intercepção antes de atingir a área crítica. Como tal, o risco depende da distância da quadrícula i à área crítica, da velocidade do evento, da velocidade dos botes e da distância do evento ao bote mais próximo. Como pressuposto, todas as quadrículas no interior da área crítica têm risco 1. Suponhamos que a área de patrulha tem 3nm de raio, os botes dispõem de velocidade de 25nó, os contactos podem operar até 10nó sem serem considerados terroristas. Se o evento não for detetado a 100jj da área crítica, consegue atingi-la em t horas:

$$t = \frac{100}{20000} \text{ hora} \quad (4.11)$$

Com risco 1 se o bote se encontrar a mais de:

$$e = 50000 \cdot t \quad (4.12)$$

Com o bote a patrulhar entre as 0 e as 6000jj, t máximo é dado por:

$$t_{max} = \frac{6000}{50000} \text{ hora} \quad (4.13)$$

e a distância a partir da qual não há risco é dada por:

$$d_{max} = \frac{20000 \cdot 6000}{50000} = 2400jj \quad (4.14)$$

$$d_{max} = \frac{v_{alvo} \cdot r}{v_{bote}} jj \quad (4.15)$$

Existindo c áreas críticas, $c' \in \{1, \dots, c\}$, $distcrit(c', i)$ é a distância entre o local i e a área crítica c' . Considere-se v_{bote} a velocidade do bote em nó, v_{alvo} a velocidade do alvo em nó, $raio'$ o raio da área de patrulha associada à área crítica c' dentro da qual evolui o bote, em nm. Até $d_{c'}$, o risco $r_{c'i}$ associado à quadrícula $i \in \{1, \dots, m\}$, em função de $distcrit(c', i)$, é dado por:

$$r_{c'i} = \frac{2 - \frac{v_{bote} \cdot distquad(c', i)}{v_{alvo} \cdot raio'}}{2} \quad 1 \leq i \leq m, 1 \leq c' \leq c \quad (4.16)$$

Falta no entanto considerar que:

- O bote pode não estar disponível, podendo ser necessário aguardar até que fique liberto, por estar a efetuar uma vistoria, perseguição ou investigação;
- O bote pode não estar no rumo oposto ao do evento, pelo que a distância a percorrer varia de acordo com a largura da área atribuída;
- Todas as quadrículas dentro da área de deteção devem estar cobertas por sensores, caso fisicamente possível.

Pelos motivos apresentados, a todas as quadrículas é adicionado o valor 0.5, sendo que o risco varia agora entre 0.5 e 1. Devido a poderem existir diversas áreas críticas dentro do mesmo cenário, o cálculo do risco será decorrente da distância às várias áreas:

$$risquad_i = 1 - (1 - r_{1i})(1 - r_{2i}) \dots (1 - r_{ci}) \quad 1 \leq i \leq m \quad (4.17)$$

4.1.4 Risco da instalação

Sendo os radares instalados numa nação não aliada, sujeita a ataques terroristas, a segurança das instalações pode estar em perigo. Locais que permitem boas coberturas mas não têm proteção assegurada constituem um grande risco, já que se pode perder toda a cobertura assegurada, quer por danos no próprio radar quer por interrupção da alimentação elétrica. É assim um factor que deve ser considerado, exceto se todas as instalações estiverem sujeitas ao mesmo risco.

4.1.5 Estruturas de dados

Construção da matriz de distâncias e visibilidade. Os locais de implantação são sujeitos ao desenho de quadrículas, com as mesmas dimensões usadas na área de cobertura (grão g), correspondendo (a_j, b_j, z_j) às coordenadas e altura do centro da quadrícula j . Para cada local (a_j, b_j, z_j) , $j \in \{1, \dots, n\}$ de possível implantação de radar, ao qual está associado um mastro de altura w , calculam-se os vectores **visquad** e **distquad**. Havendo n possíveis locais de implantação e m quadrículas da área de deteção, constroem-se duas matrizes $(n \times m)$, sendo uma designada **matvis** e a outra **matdist**. As posições dos locais de implantação são guardadas numa matriz **posloc** $(3 \times n)$.

A cada linha das matrizes **matvis** e **matdist** corresponde um local de implantação j , cujas coordenadas se encontram em **posloc** $(:,j)$. A cada coluna i das matrizes **matvis** e **matdist** corresponde a quadrícula i , cujas coordenadas se encontram guardadas em **posquad** $(:,i)$.

Construção da matriz de probabilidades de deteção e risco. Considerem-se p modelos de radares, com curvas de probabilidade de deteção em função da distância, $f_k(d)$, $1 \leq k \leq p$. Podendo existir vários sensores do mesmo modelo, é usado um vector **rec** $(1 \times p)$, para guardar a quantidade de sensores disponíveis por modelo. Cada tipo de radar k pode ser implementado num dos n possíveis locais. A implantação de um radar k num local j obriga à criação de uma linha de probabilidade de deteção com m colunas (uma coluna por quadrícula i da área de deteção). A matriz de probabilidade de deteção acumulada **matpd**, por sensor do tipo k , com altura de mastro w , implementado no local j sobre um alvo de altura h no local i é dada por:

$$matpd_{kji} = f_k(matdist_{ji})matvis_{ji} \quad 1 \leq k \leq p, 1 \leq j \leq n, 1 \leq i \leq m \quad (4.18)$$

Caso a quadrícula i da área molhada seja coberta por vários sensores, deve ser calculada a cobertura conjunta. Existem atualmente duas alternativas para integrar as diversas probabilidades de detecção num único vector com m células, **vecpdc** (vector de probabilidade de detecção conjunta). Para a obtenção deste vector é necessário converter **matpd** ($p \times n \times m$) em **matpd2** ($q \times m$), em que $q = p \times n$. Nesta matriz, as n localizações de sensores são replicadas p vezes, originando q linhas.

- Assume-se que o posto de comando e controlo tem capacidade de fusão de dados provenientes dos sensores:

$$vecpdc_i = 1 - \prod_{e=1}^q (1 - matpd2_{ei}) \quad \forall i \quad (4.19)$$

- Assume-se que o posto de comando e controlo não tem capacidade de fusão de dados, aproveitando apenas a informação proveniente do sensor com maior probabilidade de detecção sobre uma determinada área:

$$e' = \operatorname{argmax}_e(matpd2_{ei}), \quad vecpdc_i = matpd2_{e'i} \quad \forall i \quad (4.20)$$

Não se tendo conhecimento da existência de sistemas de comando e controlo projetados que efetuem a fusão de dados de acordo com (4.19), assume-se que será sempre usada a opção (4.20). A associação ao risco é efetuada usando os vectores **vecpdc** e **riscquad**, ambos de dimensão $1 \times m$:

$$vecpdcr_i = vecpdc_i riscquad_i \quad \forall i \quad (4.21)$$

No quadro 30, resumem-se os dados do problema.

Quadro 30. Dados do problema

Nome	Dimensão	Descrição
g	escalar	Lado da quadrícula
m	escalar	Quantidade de quadrículas da área molhada
n	escalar	Quantidade de quadrículas da área de implantação de sensores
p	escalar	Quantidade de tipos de sensores disponíveis
w	escalar	Altura do mastro para colocação do sensor
h	escalar	Altura do centro de reflexão do alvo, em relação ao nível do mar
v_{bote}	escalar	Velocidade praticada pelas embarcações durante a perseguição
v_{alvo}	escalar	Velocidade praticada pelos eventos a classificar
posquad	$2 \times m$	Coordenadas (x,y) de m quadrículas da área a cobrir
posloc	$3 \times n$	Coordenadas (x,y,z) de n possível locais de instalação de sensores
matvis	$n \times m$	Visibilidade entre o topo de um mastro de altura w implementado em $local \in \{1, \dots, n\}$ e um alvo no $local \in \{1, \dots, m\}$.
matdist	$n \times m$	Distância entre o topo de um mastro de altura w implementado em $local \in \{1, \dots, n\}$ e um alvo no $local \in \{1, \dots, m\}$.
riscquad	$1 \times m$	Vector de risco em m quadrículas
Rec	$1 \times p$	Quantidade de sensores disponíveis por tipo de sensor
f_k(d)	Não aplicável	Função probabilidade de detecção do sensor modelo k , em função da distância entre o sensor e o alvo
matpd	$p \times n \times m$	Uma página por tipo de sensor, uma linha por local de implantação e uma coluna por local molhado, contendo probabilidades de detecção
matpd2	$q \times m$	Concatenando matpd , em que $q = p \times n$
vecpdc	m	Probabilidade de detecção conjunta por local molhado, assumindo que não se encontra instalada a capacidade de fusão de dados
vecpdcr	m	Associação de risco e probabilidade de detecção. A cobertura de um local só se torna importante caso haja risco de não detecção no mesmo local.

4.1.6 Problema de cobertura por sensores

Num problema de localização de cobertura (*Covering Location Problem*), Garcia *et al.* [35], pretende-se determinar a localização de um conjunto de equipamentos que sirva todos os seus utilizadores ao menor custo (*Set Covering*) ou que garanta a maior cobertura de utilizadores com um dado número de equipamentos (*Maximal Coverage*). Na presente situação (*Detection Coverage Problem*), Wang [112], pretende-se maximizar a cobertura probabilística da área molhada através de sensores fixos (por exemplo, radares). Em locais molhados de risco 1 pretende-se uma probabilidade de deteção com valor 1, em locais de risco 0 não é contabilizada a probabilidade de deteção.

Objetivo e variáveis de decisão. Seja Y_{kj} uma variável binária, em que o valor 1 significa que um radar do tipo k se encontra localizado no local j , com $k=1,...,p$ e $j=1,...,n$. Cada local apenas suporta um sensor e o número de sensores de cada tipo usados não pode ultrapassar as disponibilidades guardadas em **rec**. O comprimento de **rec** fornece o nº de modelos e o somatório dos valores guardados iguala a quantidade total de sensores:

$$Y_{kj} \in \{0,1\} \quad \forall k,j \quad (4.22)$$

$$\sum_{j=1}^n Y_{kj} \leq rec_k \quad \forall k \quad (4.23)$$

$$\sum_{k=1}^p Y_{kj} \leq 1 \quad \forall j \quad (4.24)$$

Não havendo custos associados à aquisição dos radares, a função objetivo **G** poderá contemplar apenas o valor das coberturas com risco. Considere-se novamente a criação de um índice q em que $q=pxn$; com este índice, as n localizações são replicadas p vezes, originado q linhas. Utilizando (4.21) efetua-se o cálculo da cobertura com risco de uma determinada solução, sendo Y' (q) obtida a partir de $Y(pxn)$. Y' será assim um vector com tantas células quantas as linhas de **matpd2**. Considerando:

$$e' = \operatorname{argmax}_e (Y'_{e'} \operatorname{matpd2}_{ei}),$$

$$vecpdcr_i = Y'_{e'} \operatorname{matpd2}_{ei} riscquad_i \quad \forall i \quad (4.25)$$

obtém-se a seguinte função objetivo:

$$(max)G = \sum_{i=1}^m vecpdcr_i \quad (4.26)$$

Caso não se pretenda incluir o risco, por se desconhecerem as velocidades dos eventos, a função objetivo poderá contemplar apenas a cobertura, trocando **vecpdcr** por **vecpdc** em (4.25). No entanto, o utilizador poderá querer evitar transportar sensores cujo valor acrescentado não seja relevante, ou seja, o acréscimo de mais um sensor deve representar algum ganho significativo em termos de cobertura, com ou sem risco. Por esse motivo, poderá ser criada uma penalização associada ao total de sensores transportados, ficando a função objetivo com a seguinte forma:

$$(max)G = \sum_{i=1}^m vecpdcr_i - \beta \sum_{e=1}^q Y'_{e'} \quad (4.27)$$

em que β é uma constante a determinar pelo utilizador, penalizando a solução que tenha mais sensores instalados. Para auxiliar o utilizador na escolha de β , deverá ser apresentado um gráfico relacionando a necessidade de sensores com a cobertura obtida.

4.2. HEURÍSTICAS

Considere-se que um sensor tem como responsabilidade a deteção nas células para as quais apresenta a maior probabilidade de deteção, de entre todos os sensores instalados. Por esse motivo, a heurística escolherá como sensor inicial aquele ao qual corresponde a solução ótima caso se disponha de apenas um sensor. Os restantes sensores, colocados um a um, serão selecionados conforme o valor da cobertura obtido com todos os sensores já colocados. Esta metodologia permitirá obter uma boa solução inicial, a qual será melhorada por outros métodos.

4.2.1 Heurística de arranque ou *Greedy*

Passo 1, arranque: a solução inicial será composta pelo radar de modelo k instalado no local j a que corresponda o maior valor de cobertura com risco. Considerando $q=pxn$, e $e \in \{1, \dots, q\}$:

$$e' = \operatorname{argmax}_e (\sum_{i=1}^m \operatorname{matpd}2_{ei} \operatorname{riscquad}_i) \quad (4.28)$$

Encontrado o índice e' a que corresponde o maior valor de cobertura com risco, o modelo de radar k é obtido por $k = \lceil e'/n \rceil$ e o local de instalação j por $j = e' - \lfloor e'/n \rfloor$. A solução inicial é constituída por $Y_{kj}=1$, restantes variáveis de decisão com valor 0. A solução encontrada é ótima caso se disponha apenas de um radar, já que em *matpd2* se encontram todas as combinações possíveis de modelo radar versus local de instalação. Após colocado o primeiro radar, todos os locais da área molhada passam a ter associada uma probabilidade de deteção, apenas interessando outros radares que possuam superiores probabilidades sobre os mesmos locais, já que se assumiu a não fusão de dados.

Passo 2: utilizando o argumento e' encontrado em (4.28), é construída uma matriz *matpd2'*, resultante de:

$$\operatorname{matpd}2'_{ei} = fc(\operatorname{matpd}2_{ei} - \operatorname{matpd}2_{ei}), 1 \leq i \leq m, 1 \leq e \leq q \quad (4.29)$$

$$fc(x) = \begin{cases} 0, & x < 0 \\ x, & x \geq 0 \end{cases} \quad (4.30)$$

Passo 3: o segundo radar e local serão encontrados usando (4.28), substituindo *matpd2* por *matpd2'*. Pretende-se que o algoritmo encontre um local de implantação afastado do(s) já instalado(s), a partir do qual se consiga cobrir áreas molhadas ainda com baixas probabilidades de deteção. Note-se que qualquer par 'modelo radar-local de instalação' já pertencente à solução apresenta um ganho 0, pelo que não será necessário retirá-lo da matriz *matpd2'*.

Passo 4: caso não se consiga melhorar a solução com o acréscimo de novo radar, a heurística é interrompida e apresentado o valor final. Caso contrário, atualiza Y_{kj} e regressa ao passo 2.

4.2.2 Heurísticas de melhoramento

Consideremos o seguinte cenário: 4 modelos de radar, 1 unidade de cada modelo, 9 locais possíveis para instalação e 9 quadículas para cobrir. O quadro 31 apresenta a solução *Greedy*.

Quadro 31. Exemplo com solução Greedy

	Quadrículas								
Radares e locais	1	2	3	4	5	6	7	8	9
R1L1	1	0.5	0.5	0.5	0	1	1	0	0
R2L3	0	1	0.5	0.5	0.5	0	0	1	0.5
R3L6	0	0.5	1	0	0	0.5	0	0	1
R4L9	0	0.5	0.5	1	0	0	0	0.5	0
max_i	1	1	1	1	1	1	1	1	1

O valor da solução é dado pelo somatório da última linha, a qual apresenta a probabilidade de deteção máxima por coluna. Para melhorar a solução, foram testadas inicialmente duas heurísticas, designadamente algoritmo genético (**AG**) e *simulated annealing* de busca em espiral (**SA**), mantendo a quantidade de radares mas alterando os locais de implantação. Tendo-se verificado que nenhuma delas conseguiu melhorar a solução *Greedy*, foi analisada a superfície de soluções num problema com apenas dois sensores disponíveis. Essa análise permitiu o desenvolvimento de uma heurística específica para o problema, espiral descontinuada (**ED**), a qual conseguiu encontrar soluções de melhor qualidade que a inicial. Caso existam ainda radares disponíveis, poderão ser adicionados à solução, sujeitos igualmente à troca de local. A grande dificuldade de implementação quer da heurística *Greedy* quer das heurísticas de melhoramento testadas prende-se com a morosidade na obtenção da matriz *matpd*, com $p*n*m$ células com visibilidades e probabilidades de deteção.

4.2.3 Exemplo de obtenção de solução pelo algoritmo Greedy

Valor do grão. A utilização de mapas *raster* para cálculo das coberturas necessita da definição do lado da quadrícula (grão ou g). Se uma quadrícula ínfima permite uma grande aproximação ao mundo real, já um número muito elevado de quadrículas exige tempos computacionais proibitivos. Na seleção do valor g para o simulador, é preferível uma dimensão de 10jj, por ser a dimensão média de uma embarcação passível de ser usada por terroristas. O quadro 32 apresenta-se o efeito de g nos cálculos de obtenção de *matpd*.

Quadro 32 Definição da quadrícula

Grão (g) em jj	10	20	30
Nº quadrículas da área de instalação	543	128	52
Nº quadrículas da área de deteção	66742	16653	7405
Cálculos para obtenção visibilidade	36.240.106	2.131.584	385.060
Demora na obtenção visibilidade (seg)	762,08	24,75	4,93
Cálculos para obtenção probabilidade de deteção	217.445.436	12.789.504	2.130.360
Demora na obtenção das probabilidades de deteção (seg)	25,64	1,13	0,12

Face aos tempos presentes no quadro, será utilizado um grão de 30jj, sendo que a alteração deste valor está à disposição do utilizador. A área usada como exemplo está representada na figura 41, resultante do desenho de uma área de deteção com raio de 2nm (4000 jj) em trono do cais do Portinho da Costa (Tejo). O que se perde com a quadrícula de 30jj de lado é que embora uma embarcação possa ser visível no centro da área já um dos extremos pode estar coberto por uma elevação do terreno, podendo haver mais zonas de sombra do que as conseguidas pelo algoritmo. Com uma quadrícula de 10jj, parte da embarcação no seu interior está sempre no centro da quadrícula, tornando-a visível à rede de sensores. Tendo em conta estes condicionalismos, será utilizado como padrão um valor de $g=30$.

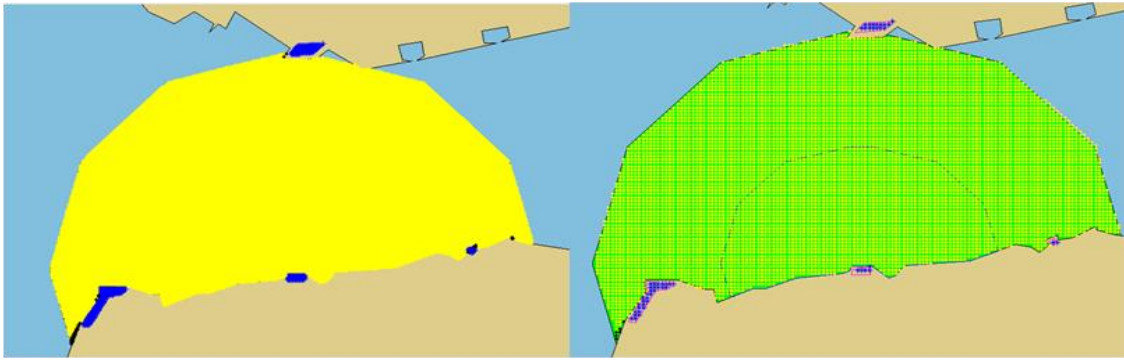


Figura 41. Coberturas calculadas com grão 10jj (esquerda) e 30jj

Sensores

Tipos. Para efeitos de experimentação, são simulados 3 tipos de radares, estando disponíveis mais do que um radar por tipo. Cada tipo de radar tem associado um nome, um alcance máximo, uma curva de distribuição de probabilidade de deteção e uma quantidade. As curvas são ainda função da área exposta do alvo e condições ambientais, sendo que estes factores são idênticos para todas. No quadro 33 são apresentados 3 tipos de radar, com características fictícias, apenas para propósitos de ilustração.

Quadro 33 Curva de distribuição de probabilidade acumulada de deteção

Nome e tipo	Alcance máximo (jardas)	Curva de distribuição de probabilidade acumulada de deteção	Quantidade disponível
Thales SCOUT MK 2'	5000	Sigmoidal	2
Atlas Elenóronik 9600	5000	Linear	2
Kelvin Hughes Type 1007'	4000	Linear	2

Curvas de probabilidade de deteção acumulada

Sendo d a distância entre o local j de instalação do radar e o local i da área de deteção para a qual se está a calcular a probabilidade de deteção e $D(k)$ o alcance máximo do radar k , a probabilidade de deteção acumulada de um alvo em j por um sensor em i , é dada por uma das seguintes funções:

- Sigmoidal:

$$f_1(d, D(k)) = \begin{cases} 1 - 2\left(\frac{d}{D(k)}\right)^2 & \text{caso } d \leq \frac{D(k)}{2} \\ 2\left(\frac{d-D(k)}{D(k)}\right)^2 & \text{caso } \frac{D(k)}{2} < d \leq D(k) \\ 0 & \text{caso } d \geq D(k) \end{cases} \quad (4.31)$$

- Linear:

$$f_2(d, D(k)) = 1 - \frac{d}{D(k)} \quad (4.32)$$

Valor máximo da cobertura com risco. Após se calcular o risco de não deteção, é possível obter o valor desejado para a cobertura de sensores, o qual passará a ser referência para o algoritmo de localização:

$$\text{referência} = \sum_{i=1}^m \text{risqu}ad_i \quad (4.33)$$

Caso a velocidade das embarcações terroristas seja muito próxima da velocidade das embarcações de defesa e a área de detecção muito próxima da área crítica, a referência irá aproximar-se da quantidade de quadrículas da área de detecção, designada por m .

Procedimento para aplicação do algoritmo Greedy. Para efeitos da aplicação prática do algoritmo, foi desenvolvida uma ferramenta de edição de mapas, a qual se encontra integrada na aplicação desenvolvida para a simulação de cenários. Essa ferramenta permite a importação e edição de cartas em formatos de grade e vectoriais.

Passo 1: Carregamento de dados. Utilizando as facilidades de edição de polígonos, o utilizador define: áreas autorizadas para colocação de radares; áreas críticas a proteger, incluindo atribuição de grau de importância; áreas de classificação, usando um valor de raio, em jardas. A área molhada de detecção tem um raio 10% superior ao usado para calcular a área de classificação, sendo que a ferramenta desenvolvida desenha automaticamente o polígono correspondente.

Usando um interface para carregamento de dados, o utilizador define a quadrícula (g), velocidades das embarcações de segurança (v_{bote}) e dos eventos (v_{alvo}), altura dos mastros das antenas (w), altura média da superfície refletora dos alvos (h), altura da maré, quantidades de radares por tipo (rec), alcance máximo dos radares ($D(k)$) e curva de probabilidade de detecção ($f_k(d)$) associada a cada modelo de radar. A altura de maré, em relação ao nível médio do mar, será subtraída na dimensão z de todos os locais de possível colocação de sensores, não alterando w e h .

Passo 2: Obtenção de matrizes. Usando g , dividir a carta usada em quadrículas, obtendo-se uma carta quadriculada, **CARTAQUAD**, em que a cada quadrícula irão corresponder um par de coordenadas x e y . Uma matriz **BIG** com as dimensões de **CARTAQUAD** guarda a coordenada z , a qual não será quadriculada.

Sobre a **CARTAQUAD**, colocar os polígonos das áreas de detecção. As quadrículas que ficarem no seu interior correspondem aos locais a cobrir. Efetua-se a contagem das quadrículas cobertas para se obter o escalar m . Começando da esquerda para a direita e de cima para baixo, guardam-se as coordenadas obtidas de **CARTAQUAD** em **posquad**.

Sobre a **CARTAQUAD**, colocar os polígonos das áreas de colocação de radares. As quadrículas que ficarem no seu interior correspondem aos locais possíveis para colocação de radares. Efetua-se a contagem das quadrículas para se obter o escalar n . Começando da esquerda para a direita e de cima para baixo, guardam-se as coordenadas obtidas de **CARTAQUAD** em **posloc**. A coordenada z será obtida a partir da matriz **BIG**, usando as coordenadas guardadas em **posloc**.

Usando **CARTAQUAD**, obter **matvis** e **matdist**, correndo todos os locais em **posquad** e **posloc**. As alturas do terreno são obtidas de **BIG**. Usando $f_k(d)$, **matvis** e **matdist**, obter **matpd** e **matpd2**. Usando **posquad**, calcular a menor distância de cada quadrícula da área molhada às áreas críticas. Obter **riscquad**.

Passo 3: Algoritmo Greedy. Aplicar a heurística Greedy definida em 4.2.1, obtendo uma boa solução, definida por Y com valor G . Durante a execução do algoritmo, para cada Y obtido, guardar numa matriz **soluções** o valor G correspondente.

Passo 4: Visualizar resultados. Colocar *referência*, simbolizando a cobertura máxima. Para cada linha de **soluções**, indicar igualmente o radar selecionado.

A figura 42 representa os vários passos do algoritmo *Greedy*, em que cada ponto corresponde ao encontrar uma solução melhor do que a anterior. Em 42A, a área a cobrir (visível na figura 41) é demasiado extensa face aos valores $D(k)$ definidos, não conseguindo os radares obter elevadas probabilidades de deteção nos extremos da área. Uma solução a nível do utilizador seria por exemplo fundear um navio com sensor no centro da área, correndo novamente a otimização. No exemplo mostrado em 42B, a área a cobrir é pouco extensa, sendo possível conseguir coberturas muito aceitáveis.

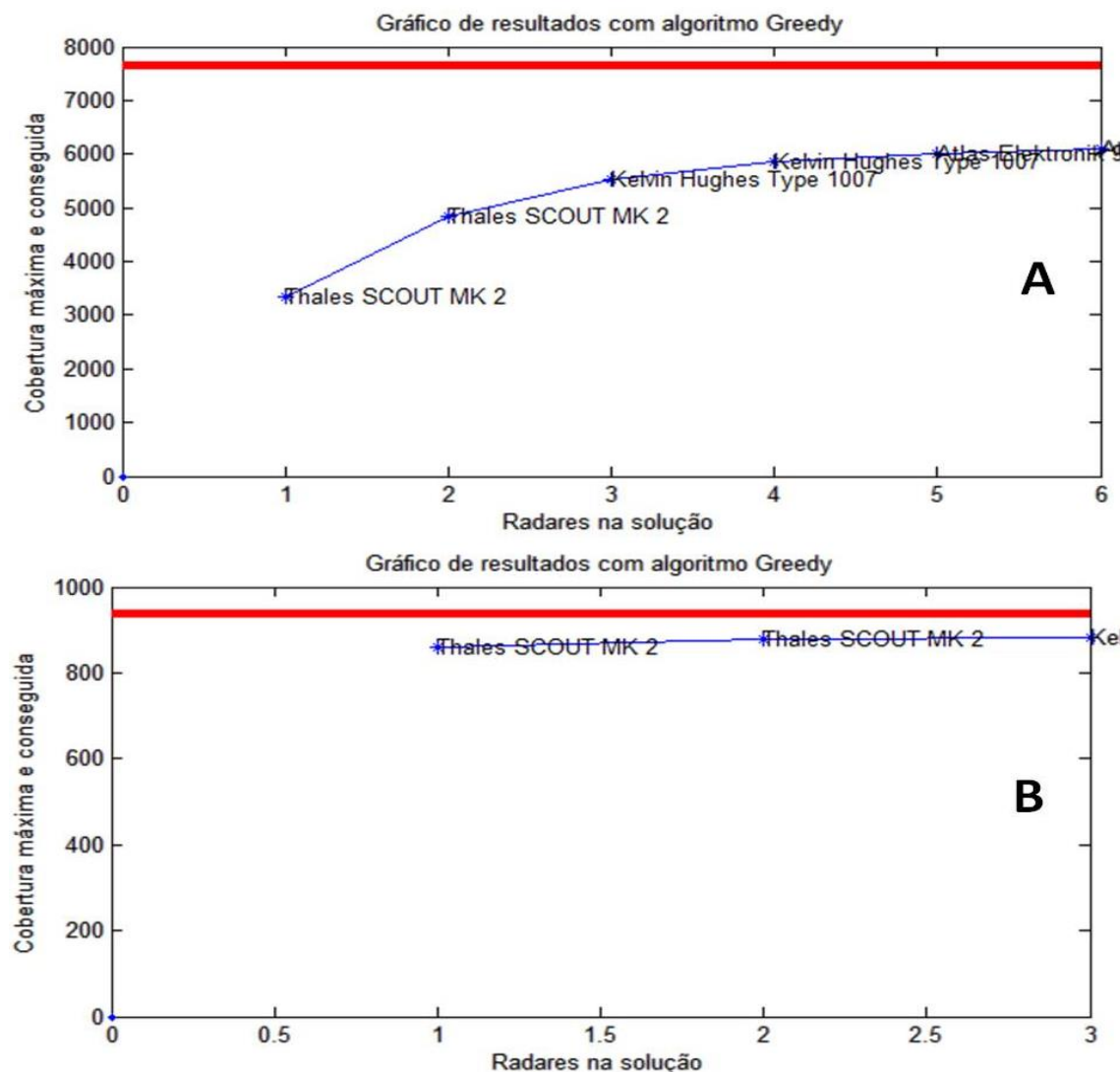


Figura 42. Ganhos com sensores.

Em A, foram instalados 6 radares, considerando $\beta=0$. Em B, com $\beta=1$, apenas foram instalados 3 radares.

Na figura 43, usando gráficos georreferenciados, são indicadas as áreas de possível implantação, os locais onde foram instalados os 6 radares (representados por estrela, correspondendo à solução apresentada em 42A), a cobertura com risco, a cobertura sem risco e o risco. A preto, os locais de não cobertura, a amarelo cobertura entre 0 e 0.25, a magenta coberturas entre 0.25 e 0.5, ciano para coberturas entre 0.5 e 0.75, a vermelho, coberturas superiores a 0.75. Em 43A, cobertura com risco de duas áreas de deteção relativas a duas áreas críticas no Porto de Lisboa. Em 43B apresenta-se a cobertura conseguida sem entrar em conta com o risco de não deteção. A cada um dos seis radares instalados corresponde uma área próxima com probabilidade de deteção superior a 75%. Em 43C representa-se o risco global, face às duas áreas críticas desenhadas.

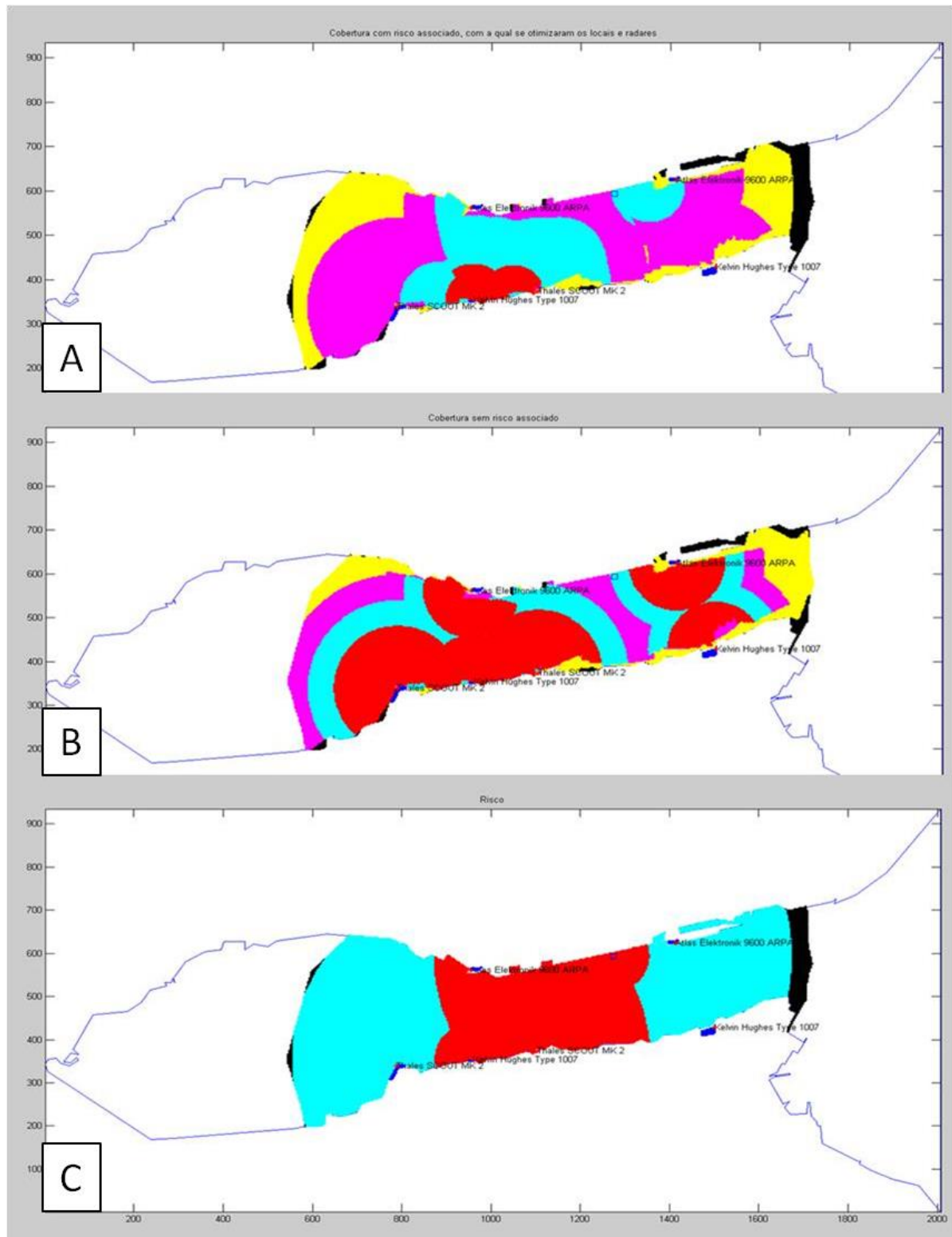


Figura 43. Diagramas de coberturas radar

A carta usada é a **CARTAQUAD**, $g=30$, com a quadrícula de coordenadas 1,1 no canto inferior esquerdo. Estas facilidades de visualização de resultados permitem ao utilizador modificar a solução e observar os resultados, intervindo diretamente na matriz Y. Já não consegue no entanto visualizar os gráficos da figura 42. Para verificar o comportamento do algoritmo face a outros sensores e à

possibilidade de instalar sensores no interior da área molhada, foram introduzidos os sonares, com valores de $D(k)$ de 200jj. Neste caso, a visualização é sempre possível desde que a linha de vista não seja interrompida por terra.

Os resultados da aplicação de sonares encontram-se representados na figura 44, onde a área de implantação é sobreposta à própria área de deteção. No caso dos sonares, considerou-se apenas a probabilidade de deteção de um mergulhador próximo da superfície. Nota-se que a função objetivo desenhada evita que os sonares se sobreponham sem necessidade. Face ao curto alcance dos sonares, são todos considerados na solução final. Caso se pretenda considerar um mergulhador a qualquer profundidade, terão de se efetuar diversas otimizações, tendo o utilizador de fornecer uma opinião sobre qual a mais danosa.

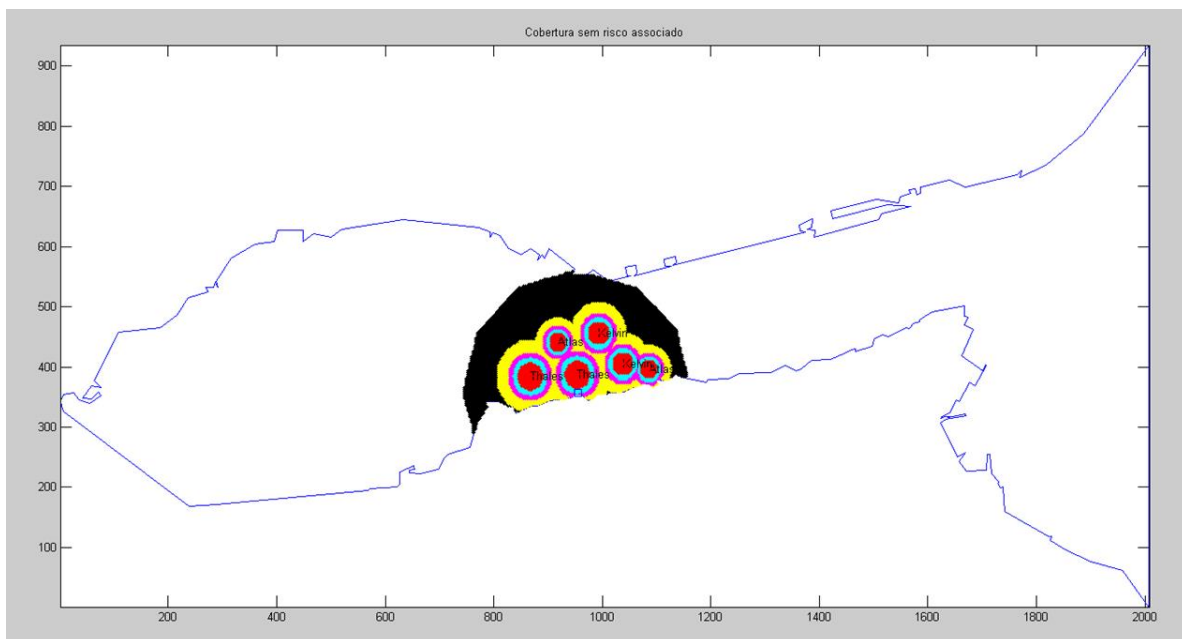


Figura 44. Diagrama de cobertura sonar

4.2.4 Heurísticas de melhoramento, solução e valor

A solução é representada pelo vector inteiro **solheur**, com dimensão $1 \times rd$, sendo $rd = \sum_{k=1}^p rec_k$ a quantidade de sensores disponíveis de k tipos. A informação contida na célula r indica o local de instalação do sensor identificado por r , incluindo a opção de não instalação, a qual é representada pelo valor zero. Uma solução será admissível se nenhum local de instalação se repetir, podendo haver repetições da não instalação. No quadro 34 pode visualizar-se o vector de soluções.

Quadro 34 Vector de soluções **solheur** e conversão para as variáveis de decisão Y_{kj}

	Nº da coluna, indicando o radar						
	$k=1$			$k=2$		$k=3$	$k=4$
	1	2	3	4	5	6	7
Valores inscritos em solheur	23	0	56	0	89	154	21
$Y_{k,j}=0$ exceto:	$Y_{1,23}=1$		$Y_{1,56}=1$		$Y_{2,89}=1$	$Y_{3,154}=1$	$Y_{4,21}=1$

Após a conversão de **solheur** em Y , a obtenção do valor de cada solução é efetuada recorrendo a (4.26) ou (4.27), dependendo de se estar a usar ou não um peso negativo para a quantidade total de radares usados. As restrições 4.23 e 4.24 são respeitadas na construção da solução.

4.2.5 Algoritmo genético (AG)

Soluções iniciais. As soluções iniciais são guardadas em linhas de uma matriz **pool** ($c \times (rd+1)$), sendo c o número de soluções iniciais e rd o número de radares. A última coluna é reservada para inscrever o valor de cada solução. A seleção do local para cada radar é feita de forma aleatória, garantindo-se que os locais não se repetem à exceção do zero (corresponde à não instalação do radar). A solução encontrada pelo algoritmo *Greedy* é incluída na matriz **pool**. Os valores da melhor e pior solução são usados para visualização da convergência do algoritmo genético.

Cruzamento e mutação. São selecionadas aleatoriamente duas soluções da matriz **pool** para servirem como progenitores. São selecionadas aleatoriamente quais as colunas de cada progenitor que serão transmitidas para o descendente. Com uma probabilidade de 0.5, é selecionada aleatoriamente uma das colunas do descendente, para alteração de local. O novo local é selecionado aleatoriamente. Caso a solução descendente seja admissível (não repete locais de implantação), é obtido o seu valor e acrescentado à matriz **pool**, sendo eliminado o progenitor de pior valor. Caso o valor máximo e mínimo das soluções guardadas na matriz **pool** coincidam, são acrescentadas 2 novas soluções, para tentar agitar a genética, eliminando aleatoriamente duas das existentes.

Resultados do algoritmo genético. A figura 45 representa o progresso do algoritmo genético com 5000 iterações e uma **pool** inicial de 100 soluções, não tendo encontrado uma solução melhor do que a definida pelo algoritmo *Greedy*. Aumentando a complexidade do cenário e o número de iterações, constatou-se o mesmo resultado; o algoritmo apenas consegue atingir uma solução idêntica à *Greedy*. Colocando a solução *Greedy* dentro do conjunto de soluções iniciais e utilizando 10000 iterações, nunca o algoritmo conseguiu uma solução melhor (figura 46).

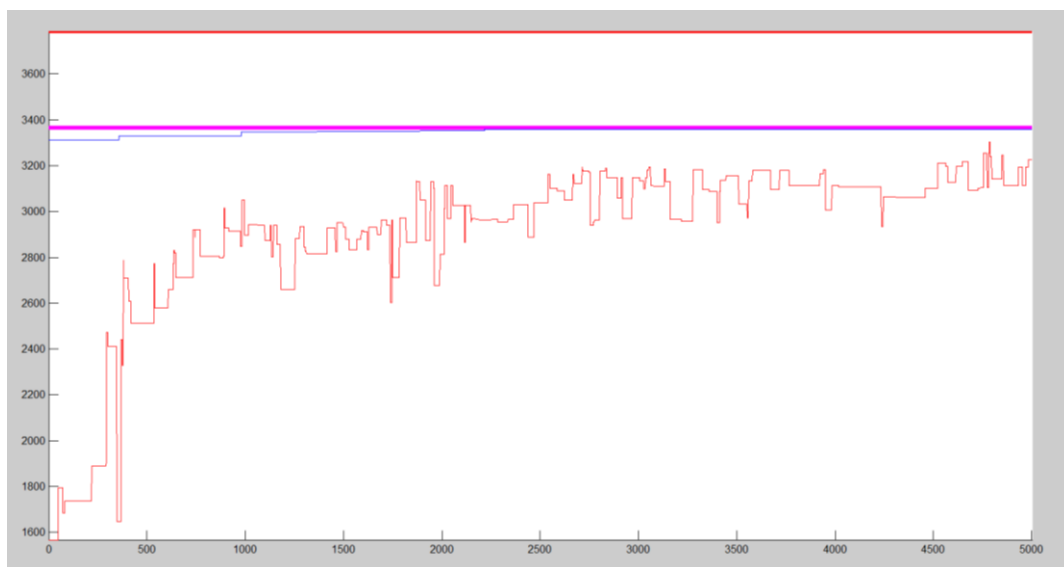


Figura 45. Caminho do algoritmo genético

A linha a vermelho representa o pior valor da **pool** em cada iteração, a linha a azul o melhor valor. A magenta, o valor da solução encontrada pelo algoritmo *Greedy*. O vermelho grosso, o valor de referência da cobertura.

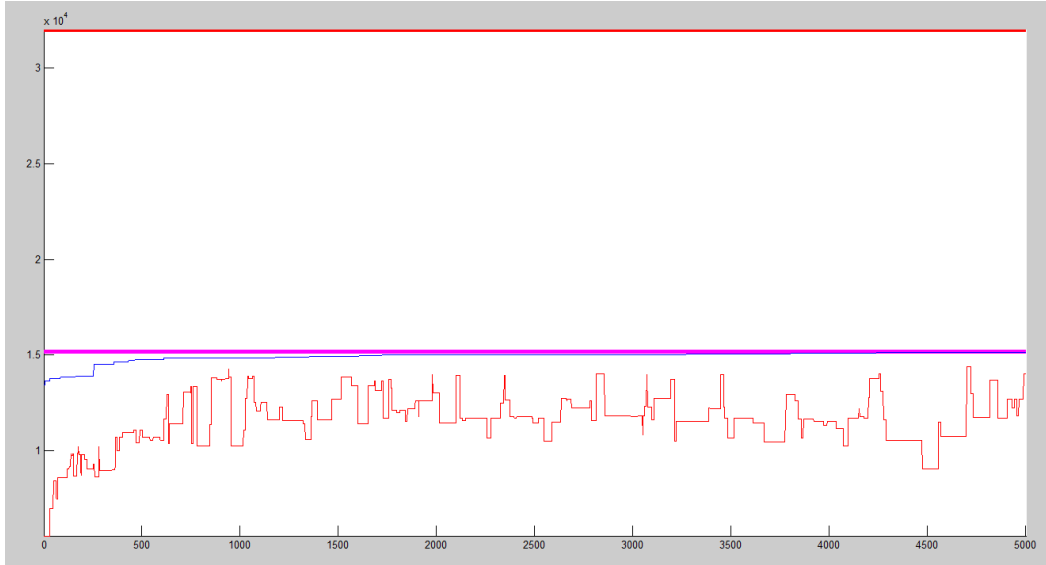


Figura 46 Caminho do algoritmo genético com Greedy
 Genético para um cenário mais complexo, com uma necessidade de cobertura mais alargada. Ao fim de 4000 iterações é atingido o valor da cobertura alcançado pelo algoritmo *Greedy*.

Três casos se colocam, perante estes resultados. Ou a solução *Greedy* corresponde ao ótimo global ou este ótimo se encontra num pico sem “plateau” ou o algoritmo genético tem demasiada aleatoriedade associada. O esclarecimento dos cenários será obtido posteriormente, com a análise das restantes heurísticas de melhoramento.

4.2.6 Simulated annealing de busca em espiral (SA)

No **SA** foram testados três parâmetros e duas soluções iniciais. As soluções iniciais testadas foram a solução *Greedy* e uma solução admissível gerada aleatoriamente. Num SA tradicional, a heurística navega entre vizinhos próximos, ficando normalmente presa num ótimo local. Com a busca em espiral, é permitida uma busca em vizinhos progressivamente mais afastados, até se encontrar uma solução melhor ou se esgotarem as iterações. De cada solução constam todos os radares disponíveis e um local de implantação para cada um. Um vizinho próximo é aquele em que se altera apenas o local de implantação de um único radar.

Parâmetros:

- Nº de iterações, $itmax$;
- Temperatura. A partir de valor inicial $t_0 < 1$, a temperatura vai diminuindo até se atingir metade das iterações; considerando $p = itmax/2$ e $i \leq p$, a temperatura t_i em cada iteração é dada por:

$$t_i = t_0 \left(\frac{p-i}{p-1} \right) \quad (4.34)$$

A partir de p e até ao total de iterações $itmax$, $t_i = 0$.

- Validade da nova solução. A solução encontrada na iteração i será aceite caso se verifique:

$$valor_i(1 + t_i) < valor_{i-1} \quad (4.35)$$

onde i é a iteração atual, $valor_i$ é o valor da nova solução, t_i é a temperatura da iteração e $valor_{i-1}$ é o valor da solução anterior.

- Varredura de vizinhos, vv ;

A busca em espiral permite aumentar a busca para lá do vizinho mais próximo quando em duas iterações sucessivas não se altera a solução. Caso se verifique para todos os vizinhos mais próximos, então o algoritmo começa a procurar soluções entre “vizinho + 1” até “vizinho + rd ”, onde rd é o número de radares existentes. Um “vizinho + 2” pode ser um radar cuja localização varia dois locais ou dois radares cuja localização varia um local, exemplificado na figura 47.

Solução atual	Vizinhos distante 1	Vizinhos distante 2
01 00 05 41	02 00 05 41	02 00 04 41
	01 00 06 41	01 00 07 41
	01 42 05 41	02 42 05 41
		03 00 05 41
		01 00 06 40
		01 42 04 41

Figura 47 Representação de uma solução.
Quatro radares e 42 locais disponíveis, exemplos de vizinhos à distância de 1 e de 2.

O número de vizinhos à distância d , para rd sensores e n^+ possíveis locais de implantação (o símbolo n^+ indica a existência da não instalação) é majorado por $(rd \cdot n^+)^d$, considerando que todos os radares podem coexistir no mesmo local ou não serem instalados (o valor indicado serve apenas para dar uma ordem de grandeza, já que não se pretende violar a condição 4.24). A busca em espiral mantém a distância de busca durante $vv \cdot d$ iterações. Significa que a vizinhança mais próxima pode ser completamente percorrida, sendo que nas mais distantes o número de pontos visitados apenas contempla parte do universo. A navegação para vizinhos mais distantes é sempre efetuada vizinho mais próximo a vizinho mais próximo, sendo os radares que alteram de local selecionados de forma aleatória. Deste modo, não há garantia de que todos os vizinhos imediatos são efetivamente percorridos, podendo assim suceder que se revisitem locais. A única forma de evitar esta revisita seria colocar uma lista tabu associada à busca em espiral, opção não testada.

Pela figura 48 pode verificar-se que a partir de metade das iterações o algoritmo alargou as buscas para além do vizinho mais próximo. Caso o vizinho não tenha um melhor valor, mantém-se a solução anterior, impedindo assim descidas no valor encontrado. Na mesma figura, verifica-se o resultado caso a solução inicial seja a *Greedy*. O conjunto de soluções tem melhor qualidade mas no final nunca ultrapassa o valor final, mesmo se utilizadas 10000 iterações e uma temperatura inicial muito elevada (0.8). Devido à dificuldade observada em se conseguir melhorar a solução obtida no arranque, irá ser analisada uma superfície de soluções, de forma a conseguir-se desenvolver uma heurística de maior eficácia do que as testadas.

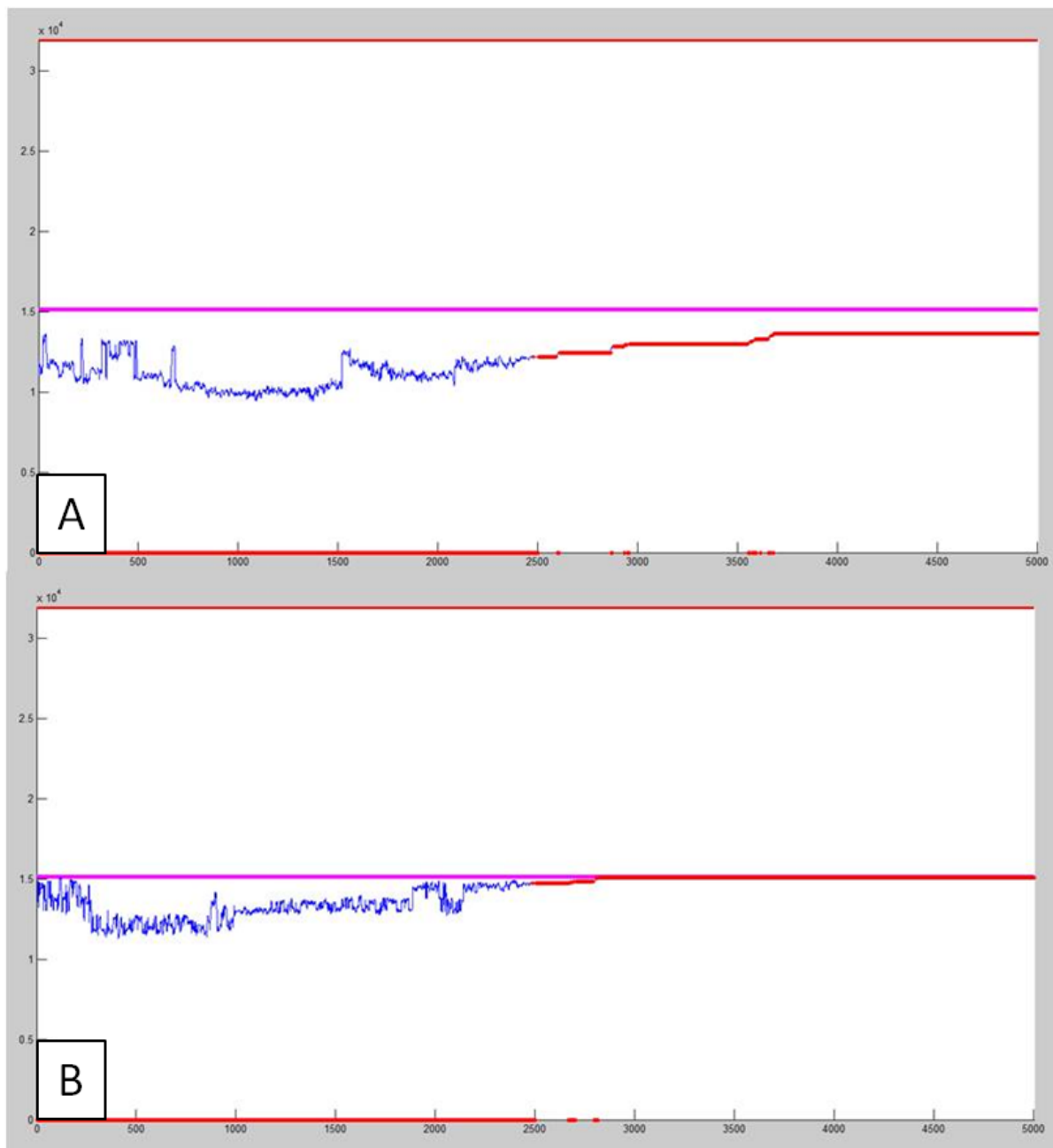


Figura 48. Caminho do Simulated Annealing

A: usada solução inicial gerada aleatoriamente; B: usada a solução *Greedy*. A linha a azul significa que são autorizados valores inferiores ao atual e os pontos a vermelho indicam as iterações em que houve busca em espiral.

4.2.7 Análise da superfície de soluções

Para se representar graficamente uma superfície de soluções, foi criado um problema de cobertura com duas áreas críticas, ambas com uma área de detecção de 4000jj (total de 16.150 quadrículas para cobrir), 2 radares e 112 locais possíveis de instalação, incluindo a não instalação. A superfície de soluções encontra-se figura 49, assinalando-se a solução *Greedy* (círculo) e a melhor solução possível (quadrado), obtida por análise da superfície. O valor da solução, entre 0 e 1, é dado pela razão entre a cobertura obtida pelos dois sensores e o valor de referência (cobertura desejada). A obtenção da superfície considerou ainda que no mesmo local podem estar colocados dois sensores (o que é possível mas não desejável, já que as probabilidades de detecção não se somam).

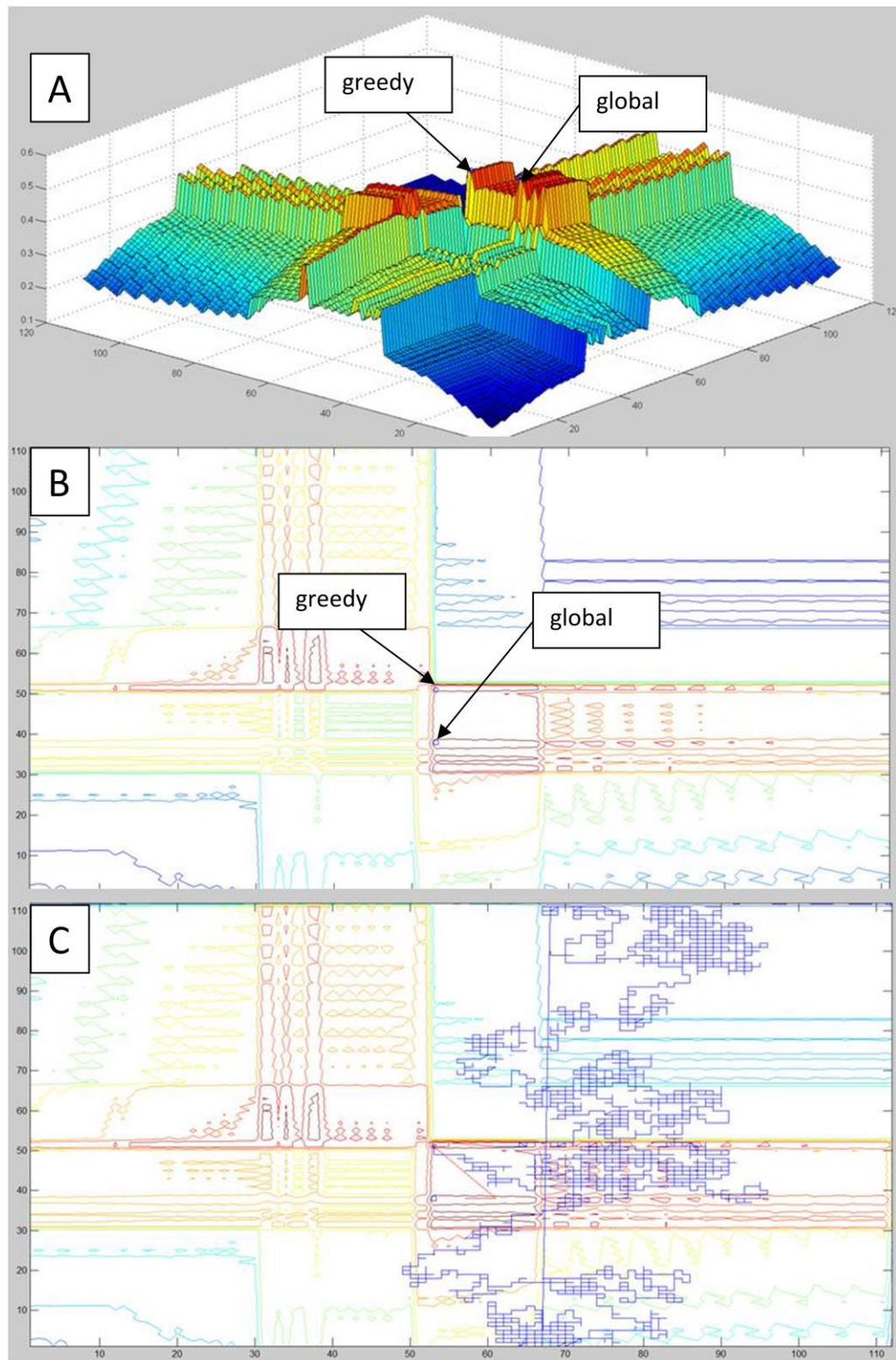


Figura 49. Representação da superfície de soluções.

A: em perspectiva; B e C: em projeção; C: a azul, caminho percorrido pelo SA

Às coordenadas $x=0$ e $y=0$, com o significado de nenhum sensor instalado, corresponde o valor de cobertura zero. A: representação tridimensional, com indicação da solução *Greedy* (círculo) e do ótimo global (quadrado); B: representação de contornos, com *Greedy* e ótimo global; C:

representação do caminho percorrido pelo **SA**. Azul com temperatura elevada, a vermelho com a busca em espiral.

Sendo um espaço com 12544 (112×112) valores, o número de ótimos locais é muito elevado, apresentando descontinuidades em toda a superfície. O *Greedy* ficou situado num ótimo local de boa qualidade, afastado do ótimo global por ravinas muito profundas. Para verificar o funcionamento da heurística *simulated annealing*, a partir da solução *Greedy*, o seu caminho foi representado sobre a figura de isovalores de solução, conforme figura 49 (de notar que o algoritmo não percorre locais da diagonal principal, os quais representam os dois sensores colocados no mesmo local). A azul, o caminho percorrido com temperatura elevada, a vermelho o caminho percorrido sem temperatura. Na figura 50, pode observar-se um *zoom* sobre a fase do caminho vermelho.

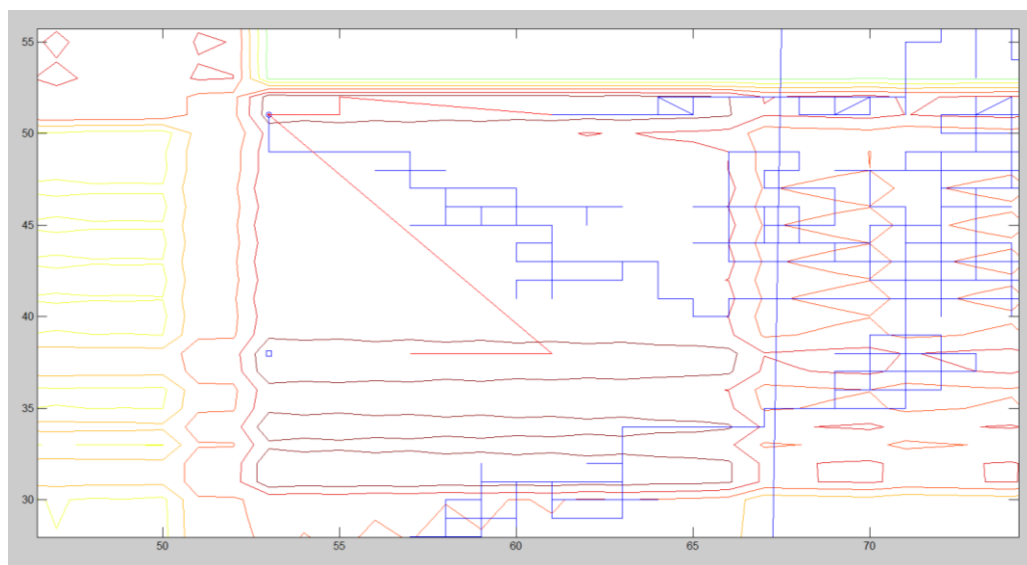


Figura 50 Busca em espiral sobre superfície das soluções
Representação do caminho percorrido pelo algoritmo na fase de busca em espiral.

Devido à temperatura zero, as soluções encontradas pelo algoritmo apenas são válidas caso tenham valor superior ao da solução atual. A excitação provoca uma busca em espiral crescente descontinuada, o que permite encontrar a solução *Greedy* e posteriormente o cume onde se situa a solução ótima. Como o número de iterações não foi suficiente, não chegou ao ótimo, apesar de ter encontrado uma solução melhor do que a *Greedy*. Devido ao comportamento observado durante a espiral, irá ser criado um algoritmo de busca em espiral crescente descontinuada (**ED**), simulando água a transbordar, iniciado na solução *Greedy*, ignorando-se a busca com temperatura, a qual nada conseguiu a não ser regressar à solução inicial. Face ao sucesso alcançado, o método **ED** será empregue em cenários de maior complexidade, já tratados anteriormente e para os quais os algoritmos tradicionais não conseguiram melhorar a solução *Greedy*.

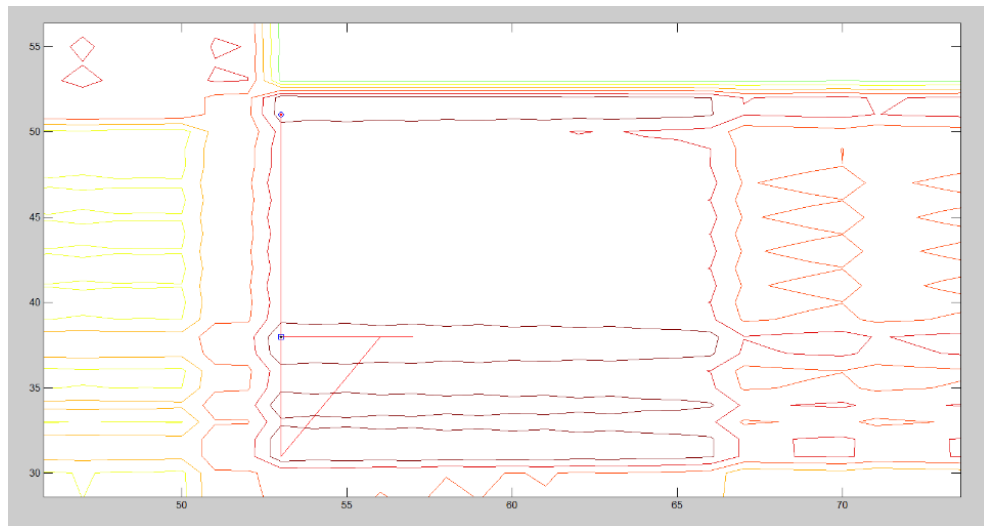


Figura 51 Busca em espiral iniciada em boa solução
Espiral lançada da solução *Greedy* consegue atingir o ótimo global

4.2.8 Espiral descontinuada (ED)

Conceito do algoritmo de espiral descontinuada. Um vizinho mais próximo da solução atual é encontrado variando o local de instalação de um radar para o local imediatamente antes ou a seguir. Um vizinho à distância de dois é encontrado fazendo variar a implantação de dois radares para locais vizinhos ou a localização de um radar para um local dois lugares antes ou depois. Considerando rd o número de sensores, n^+ o número de locais e d a distância ao vizinho, o algoritmo é iniciado numa boa solução, encontrando aleatoriamente $rd \cdot n^+ \cdot d$ vizinhos mais próximos (existem $(rd \cdot n^+)^d$ vizinhos, pelo que conforme aumenta a distância a busca vai ficando rarefeita). Caso não encontre nenhuma solução melhor à distância $d=1$, começa a efetuar busca de vizinhos à distância $d=2$, exemplificado na figura 52.

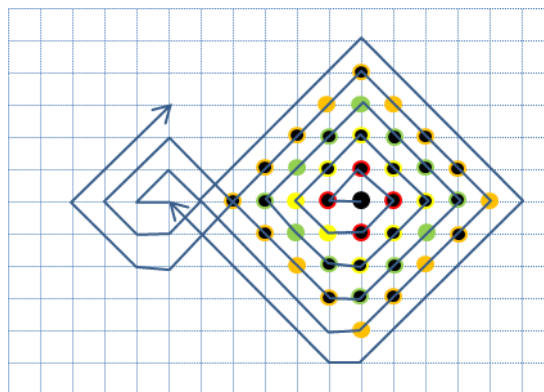


Figura 52. Esquema da busca em espiral descontinuada

A espiral continua a aumentar até encontrar uma melhor solução, iniciando-se a partir dela a busca pelo vizinho mais próximo, $d=1$. A busca não é exaustiva de forma a poder aumentar o raio de ação da espiral, conseguindo-se assim um compromisso entre o gasto computacional e a exaustão da procura. Caso o algoritmo não seja iniciado numa boa solução, o número de vizinhos procurados em cada vizinhança deve ser diminuído, devendo ainda o raio de busca ser aumentado. Caso o raio de

busca atinja um valor superior a rd , o *step* de incremento do raio de busca é aumentado numa unidade. Caso duplique rd , o *step* é novamente incrementado numa unidade e assim sucessivamente.

Definições

Solução da heurística. A solução é definida por:

$$solheur_w \in \{0, 1, \dots, n\} \quad 1 \leq w \leq rd \quad (4.36)$$

em que rd é o número de radares disponíveis, n o número de locais de instalação, 0 corresponde à não instalação. A ordenação inicial dos radares e locais mantém-se ao longo de todo o algoritmo. Usando o vector **rec**, contendo a quantidade de radares por tipo, é criado um vector **recest** ($1 \cdot rd$), com tantas células quanto os radares disponíveis, guardando o modelo de cada sensor, onde p indica a quantidade de modelos existentes:

$$recest_w \in \{1, \dots, p\} \quad 1 \leq w \leq rd \quad (4.37)$$

Obtenção do valor da solução (sem penalidades pela adição de radares que não tragam melhoria significativa da solução; no entanto, o prever-se um local de não instalação permite uma alteração simples da função objetivo sem alterar o algoritmo). Seja **matpdext** construída a partir de **matpd**:

$$matpdext_{wi} = \begin{cases} 0 & \text{caso } solheur_w = 0 \\ matpd_{recest_w, solheur_w, i} & \text{caso } solheur_w > 0 \end{cases} \quad 1 \leq w \leq rd \quad (4.38)$$

O valor da solução contida em **solheur** é então dado por (4.39), idêntica a (4.26). A inclusão da penalidade decorrente do número de sensores instalado é efetuada contabilizando todas as células de **recest** com valor diferente de zero:

$$inst_w = \begin{cases} 1 & \text{caso } solheur_w > 0 \\ 0 & \text{caso contrário} \end{cases}$$

$$\sum_{i=1}^m \max_w(matpdext_{wi}) + \beta \sum_{w=1}^{rd} inst_w \quad (4.39)$$

Vizinho admissível de distância 1 ou mais próximo. A partir da solução atual, numa célula selecionada aleatoriamente, é alterado o local de instalação por outro imediatamente antes ou depois, selecionado aleatoriamente, desde que essa posição não esteja já ocupada. A única exceção ocorre na situação correspondente à não instalação do radar, admitindo-se vários radares nesse local:

$$\{Y(1,21)Y(2,12)Y(3,33)\} \text{ "vizinho + 1" de } \{Y(1,22)Y(2,12)Y(3,33)\} \quad (4.40)$$

Vizinho admissível de distância 2. Este vizinho é obtido alterando o local de instalação de um radar em duas casas ou alterando dois locais de instalação numa casa. Este vizinho é encontrado correndo duas vezes o algoritmo para encontrar um vizinho mais próximo.

Vizinho admissível de distância p . Este vizinho é encontrado correndo p vezes o algoritmo para encontrar um vizinho mais próximo. Seja S_0 a solução inicial, viz1 o algoritmo para encontrar um vizinho mais próximo admissível e S_p um vizinho à distância p de S_0 :

$$S_0 \rightarrow \text{viz1} \rightarrow S_1 \rightarrow \text{viz1} \rightarrow S_2 \rightarrow \dots \rightarrow S_p \quad (4.41)$$

Como a seleção de radar e a seleção de sentido para alteração do local é feita aleatoriamente em saltos de 1 vizinho, nada garante que efetivamente S_p se encontre a uma distância p de S_0 , apenas é garantido que no máximo as soluções se encontram a essa distância.

Incremento. O incremento é uma medida adotada quando ao fim de um determinado número de iterações o algoritmo não encontrou nenhuma solução melhor do que a atual. Permite aumentar o raio de busca à custa de curto-circuitar algumas vizinhanças. A busca pelo próximo vizinho é agora feita correndo um número incremental de vezes o algoritmo para encontrar o vizinho mais próximo. No entanto, devido a percorrerem-se os vizinhos um a um até chegar à distância desejada, é muito provável que se visitem vizinhos a distâncias inferiores. A aplicação do incremento é exemplificada no quadro 35.

Quadro 35 Exemplo do algoritmo de espiral continuada para 2 sensores

Incremento	Raio	Nº de vizinhos procurados
0 (inicial)	1	4
1	2	6
2	4	10

Algoritmo de espiral descontinuada (ED)

Passo 1

- Definir o número máximo de iterações do algoritmo.
- Obter rec , k , rd e n (modelos, radares por modelo e totais, locais de instalação disponíveis).
- Definir a solução admissível S_0 para arranque da espiral, seja ela obtida aleatoriamente ou proveniente do algoritmo *Greedy*. Guardá-la como *best solution*. Obter o valor da solução inicial e guardá-lo como *best value*.
- Definir $contador=1$; $raio=1$ e $incremento=0$.

Passo 2

- Verificar se ainda não foi atingido o número máximo de iterações. Caso afirmativo segue para o passo 4. Caso negativo, efetua os seguintes procedimentos:
- Em $(raio+1)*k$ iterações, procurar vizinhos à distância de $raio$.
- Incrementar contador de uma unidade: $contador=contador+1$
- Caso seja encontrada uma solução cujo valor seja superior ao *best value*.
 - Atualizar *best solution* e *best value*. Colocar $contador=1$; $incremento=0$; $raio=1$. Reiniciar passo 2, começando na solução agora encontrada.
- Quando $contador=(raio+1)*k + 1$, passar ao passo 3.

Passo 3

- Aumentar incremento: $incremento=incremento+1$
- Atualizar raio: $raio=raio+incremento$
- Reiniciar o contador: $contador=1$
- Regressar ao passo 2.

Passo 4

Apresentar variação de *best value* ao longo das iterações. Caso $k=2$, apresentar os contornos da superfície de decisão, o ponto inicial, os pontos procurados, os pontos onde o contador foi reiniciado e o melhor resultado obtido.

As figuras 53 (valor da melhor solução por iteração) e 54 (solução e valor da solução por iteração) apresentam o comportamento do EC, com o algoritmo iniciado numa posição selecionada aleatoriamente, marcada por asterisco a vermelho (40,79). As melhores soluções onde o contador foi colocado a 1 encontram-se marcadas com asterisco magenta, sendo que a melhor solução se encontra marcada com asterisco negro. A *ciano*, as soluções procuradas e abandonadas. O ótimo global está representado por um quadrado a azul, coincidindo com a melhor solução encontrada. A solução *Greedy*, com círculo azul, foi visitada e abandonada, por já se ter encontrado antes um valor superior. Verificou-se que muitas soluções foram revisitadas (em 5000 iterações visitaram-se 3000 diferentes soluções), pelo que o algoritmo poderia beneficiar da inclusão de uma lista tabu.

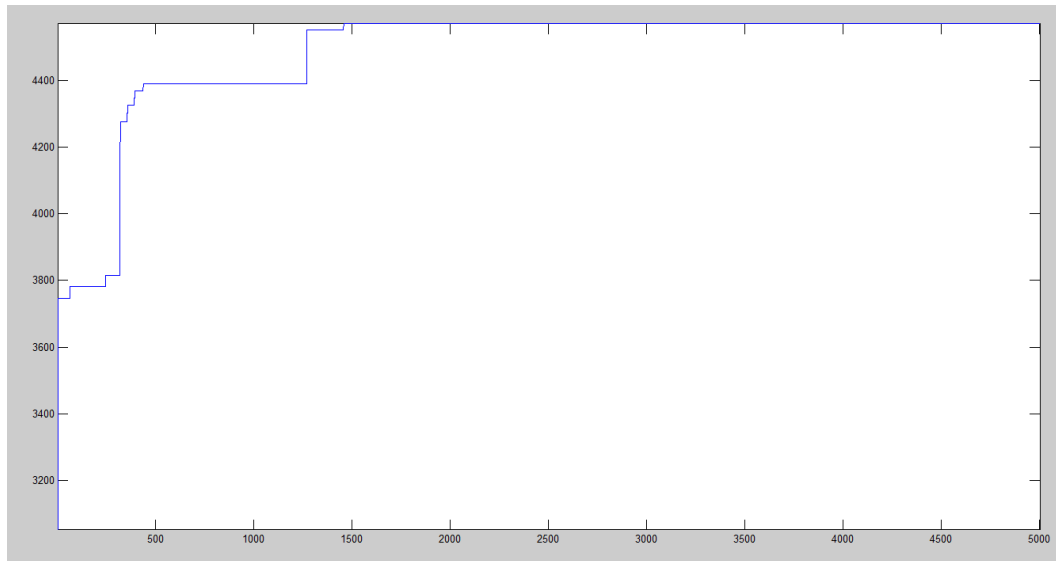


Figura 53. Convergência da espiral, lançada com uma solução aleatória.
O máximo é atingido ao fim de 1500 iterações.

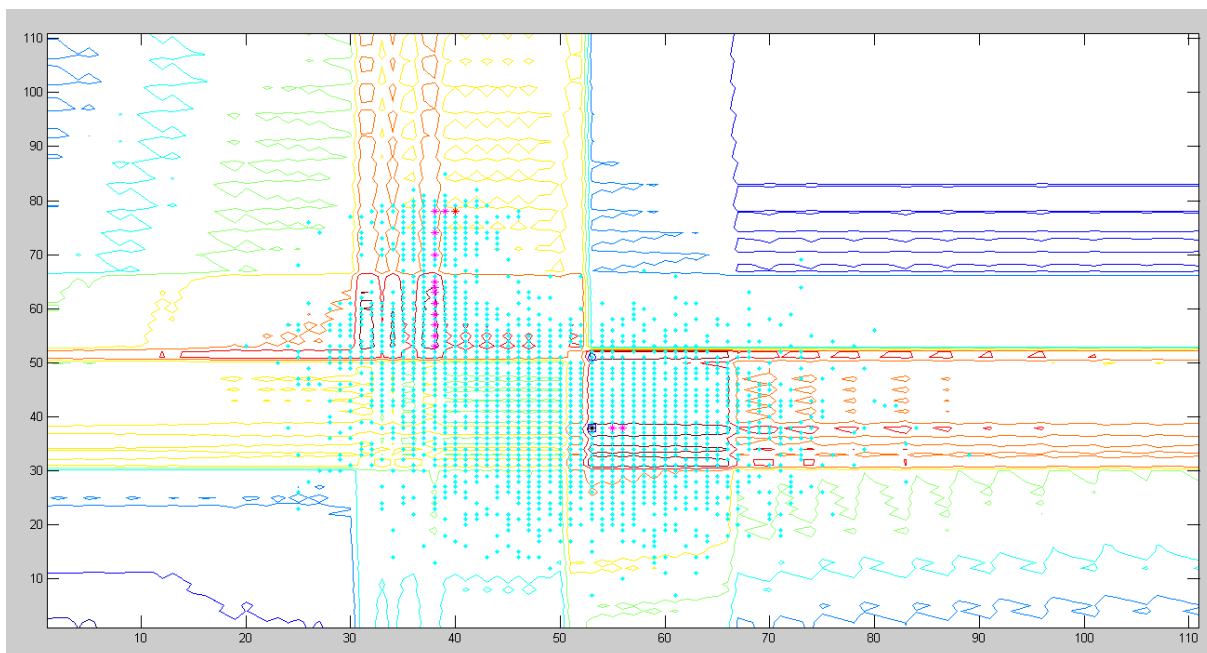


Figura 54. Representação das diversas fases do algoritmo espiral descontinuada

4.2.9 Comparação de métodos

Para comparação dos métodos, foram construídos três cenários no porto de Lisboa (figuras 41, 43 e 44). Os cenários representam diferentes áreas possíveis de implantação e de cobertura bem como diferentes conjuntos de sensores disponíveis, mantendo-se como limite o número de 5000 iterações. Apresentam-se os resultados no quadro 36, sendo o tempo de computação linearmente proporcional ao número de iterações.

Quadro 36 Comparação de heurísticas de melhoramento

	Solução inicial	Soluções	Área coberta	AG (genético)		SA (Annealing)		ED (espiral)	
				iterações	valor	iterações	valor	iterações	valor
Cenário 1	<i>Greedy</i>	112^2	16150	1300	4569	3050	4569	490	4569
	Aleatória			2800	4569	4200	4569	2100	4569
Cenário 2	<i>Greedy</i>	218^6	24451	1	8765	5000	8256	200	8783
	Aleatória			4600	8776	5000	6349	5000	7878
Cenário 3	<i>Greedy</i>	112^6	31331	5000	12061	3000	11868	4200	12204
	Aleatória			3200	12005	5000	10594	5000	10845

No cenário 1, com apenas 2 sensores, é possível verificar que foi atingido o ótimo global por qualquer um dos algoritmos, independentemente da solução inicial. No entanto, o **ED** conseguiu esse resultado num menor número de iterações. No cenário 2, com 6 sensores e maiores áreas para implantação e cobertura, o melhor resultado foi conseguido pelo **ED**, inicializado pela solução *Greedy*. O cenário 3, com 6 sensores, a mesma área de implantação do cenário 1 e uma área coberta muito extensa, o melhor resultado foi conseguido novamente pelo **ED**, inicializado com a *Greedy*.

O **AG**, com grande aleatoriedade no processo de cruzamento e mutações após cruzamento, conseguiu sempre atingir bons resultados, num número médio de iterações. Na observação das posições ocupadas pelas várias soluções obtidas, verifica-se que os locais que permitem melhores valores são percorridos exaustivamente, o que permitirá, em princípio, obter sempre uma boa solução.

O **SA** tem grandes dificuldades com a superfície de decisão deste problema. Apesar de passar por boas soluções, quando atinge o final do esfriamento fica normalmente preso num vale de paredes muito elevadas, impedindo-o de melhorar o valor obtido. Apenas o facto de ao estabilizar poder iniciar uma espiral lhe permite atingir uma solução razoável.

O **ED** (espiral), desenhado especificamente para o tipo de superfície em causa, apresenta duas grandes vantagens em relação aos métodos anteriores, quando lançado a partir da solução *Greedy*:

- Conseguiu sempre atingir um patamar melhor ou igual;
- Necessita de um número reduzido de iterações, o que permite significativos ganhos em termos temporais.

Como conclusão, caso não se disponha de uma boa solução inicial e o número de soluções seja muito elevado, deve ser dada preferência ao genético. Existindo uma boa solução inicial, a espiral permite não só soluções de grande qualidade como também as obtém num reduzido espaço de tempo, pelo que é a heurística preferencial.

4.2.10 Aceitar solução

Caso o utilizador pretenda implementar a solução, são apresentados os ganhos com os radares disponíveis, bem como as respetivas localizações (figura 55). O utilizador pode assim seleccionar apenas aqueles que apresentem vantagens apreciáveis caso instalados, reduzindo a carga logística de os transportar, montar, manter e desmontar. Com esta seleção, deixa de fazer sentido a penalização

por número de sensores, ficando ao critério do utilizador definir as suas prioridades. Caso se inicie qualquer um dos algoritmos com a solução *Greedy*, é de relembrar que esta aplica a penalização, havendo assim sensores não utilizados. Ao recorrer a heurísticas de melhoramento, a penalização deixa de ser aplicada pelos algoritmos, passando para o utilizador humano essa tarefa. Após terminar este processo, o utilizador poderá ativar as camadas de radares instalados e cobertura radar para verificar a deteção sobre todo o cenário (figura 56). A deteção é agora apresentada sem ter em conta o risco, o qual foi usado apenas para dar mais importância às quadrículas próximas das áreas críticas. A cobertura é apresentada usando contornos de probabilidade de deteção, com níveis diferenciados de 0.1. Esta representação permite não só a sobreposição com outras camadas de informação mas igualmente a verificação das zonas de sombra.

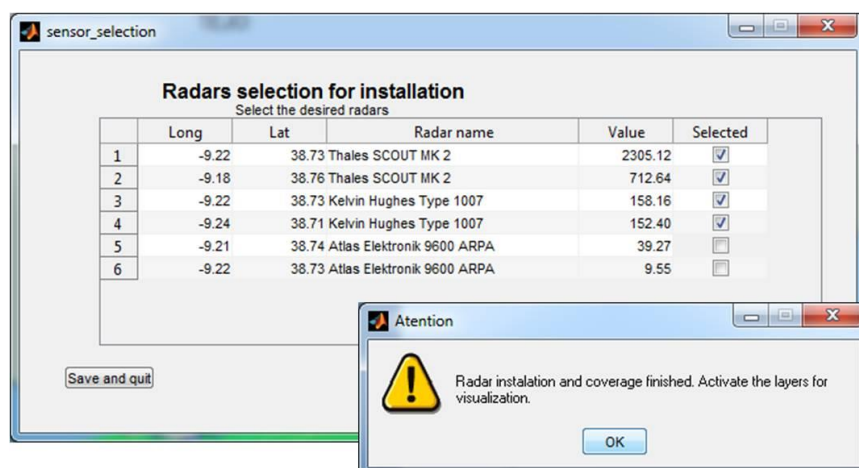


Figura 55. Seleção de sensores.

O utilizador pode seleccionar os sensores que deseja utilizar, face aos ganhos associados a cada um.

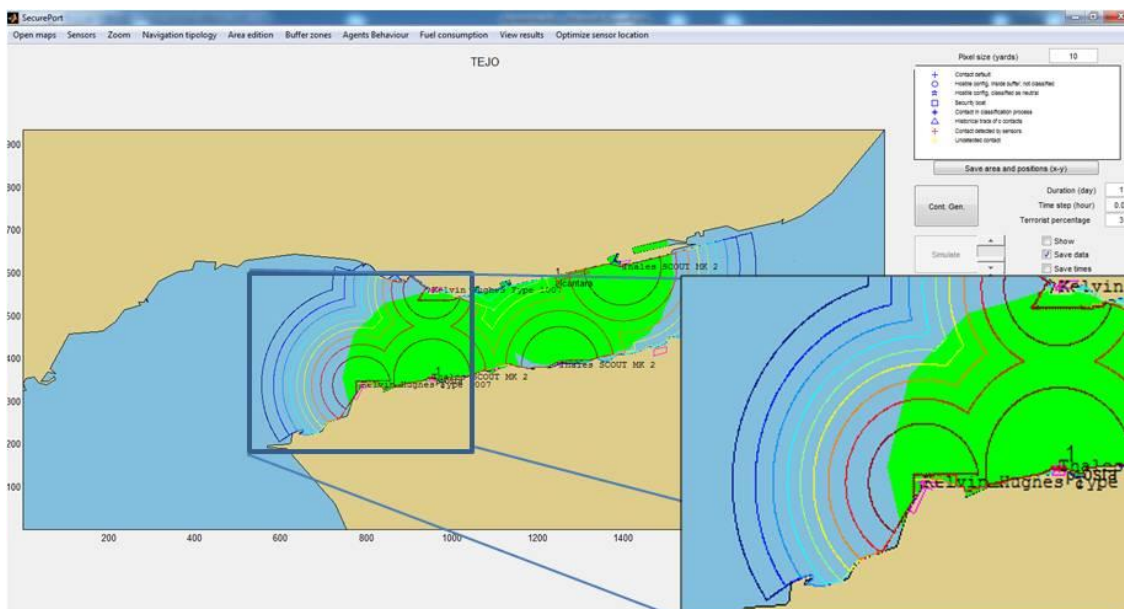


Figura 56. Camada com probabilidades de deteção

Utilizando a informação de probabilidades de deteção contida num mapa *raster*, com as dimensões do cenário, são desenhadas as curvas de contorno, variando entre si de 0.1. São igualmente visíveis outras camadas de informação, tais como a identificação dos sensores, as áreas de possível implantação de sensores, as áreas de classificação e as áreas críticas.

4.3 OTIMIZAÇÃO DA DETEÇÃO CONTEMPLANDO SENSORES FIXOS

Em determinados cenários, pode ser possível recorrer a sensores já instalados no local, sendo apenas necessário verificar se é possível aumentar a cobertura recorrendo a sensores transportados com a força de segurança. Esta situação ocorre quando navios atracados ou fundeados permitem o acesso direto ao panorama ou o porto disponibiliza informação de sensores portuários existentes. A existência de sensores cujos dados não possam ser recebidos e processados pelo sistema de comando e controlo da força não são considerados.

4.3.1 Implantação manual de radares fixos

Através da facilidade de criação e edição de sensores, o utilizador introduz o nome e modelo de sensor, o tipo de curva de probabilidade acumulada de deteção (*sigmoidal* ou *linear*, podendo no entanto serem acrescentadas outras curvas, deduzidas de medições reais ou calculadas através de modelos teóricos), o alcance máximo, o tipo de alvo e a quantidade disponível. Sobre o local desejado na carta apresentada, o utilizador associa um sensor, seleciona nome e modelo, atribui altura do mastro, tipo de alvo e altura da maré. A cobertura, usando um mapa *raster* e usando curvas de nível, é apresentada na figura 57.

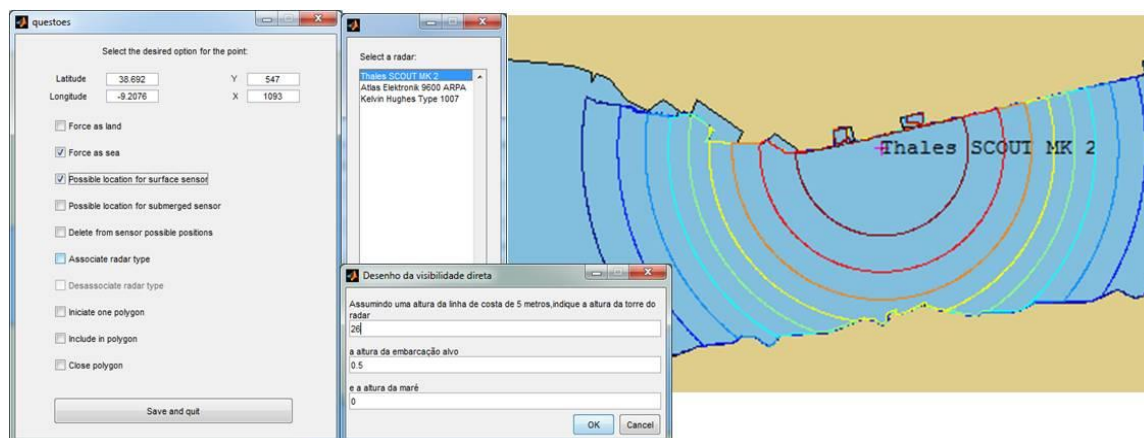


Figura 57. Instalação manual de sensor

Após o registo de um sensor na base de dados, é possível ao utilizador instalá-lo no cenário. No exemplo apresentado, representa-se a instalação de um radar a bordo de um navio fundeado.

4.3.2 Integração do sensor fixo na metodologia de otimização

As metodologias de otimização necessitam de ser informadas de todos os locais de possível implantação de sensores, das áreas de deteção, da altimetria, das alturas dos mastros dos sensores e da maré. A existência de um ou mais sensores fixos (na figura 58 são representados 2 radares fixos) pode ser tratada de duas formas:

Método 1. Na matriz de visibilidade entre locais de sensores e quadrículas da área de deteção, *matvis*, incluir os locais correspondentes aos sensores fixos; em *matpd*, incluir uma página por sensor fixo e uma coluna pelo local. Nas páginas dos sensores fixos, as probabilidades de deteção a partir dos restantes locais são colocadas artificialmente a zero, impossibilitando assim que o sensor altere a sua localização durante a heurística. Nas páginas dos sensores a otimizar, as probabilidades de deteção a partir dos locais de instalação dos sensores fixos são colocadas a zero, impossibilitando assim a seleção desses locais.

Na seleção do melhor radar a incluir no dispositivo, é procurado aquele que em conjunto com os fixos oferece a melhor cobertura. Nas heurísticas de melhoramento da solução, os radares fixos e respetivos locais não são passíveis de alteração, estando sempre ativos.

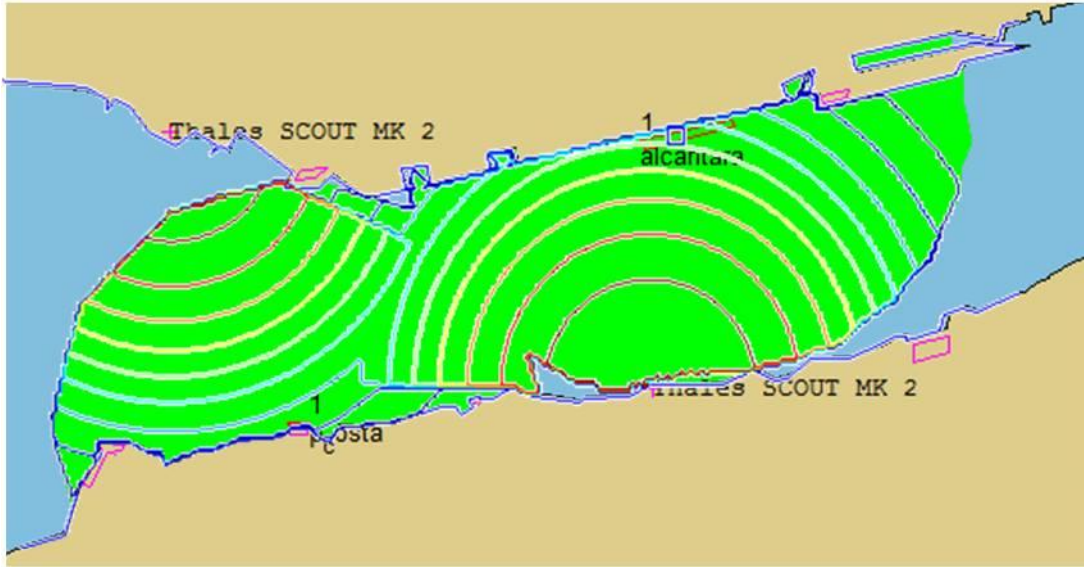


Figura 58. Coberturas radar
Cobertura de duas áreas de detecção (a verde) por radares fixos Thales SCOUT MK 2 instalados na costa.

Método 2. Para rf sensores fixos e m quadrículas das áreas de detecção é obtida uma matriz **pdfixos** ($rf \times rf \times m$), em que a cada par sensor fixo/local é obtida uma linha com probabilidade de deteção com risco sobre as m quadrículas. A matriz é convertida num vector **vecfixos** ($m \times 1$), a partir de:

$$vecfixos_i = \max(a, b) \{pdfixos_{a,b,i}\} \quad 1 \leq i \leq m \quad (4.42)$$

Para cada quadrícula i da área de deteção, **vecfixos_i** contém a maior probabilidade de deteção com risco conseguida pela configuração fixa de sensores.

Para os sensores e locais a otimizar, é obtida **matpd** ($p \times n \times m$), ignorando a existência da configuração fixa de sensores. Será de seguida obtida a matriz com probabilidades de deteção adaptada, **matpda** ($p \times n \times m$) utilizando **matpd** e **vecfixos**:

$$matpda_{kji} = \max\{0, matpd_{kji} - vecfixos_i\} \quad \forall k, j, i \quad (4.43)$$

A matriz **matpda** substitui a matriz **matpd** para os restantes cálculos, quer da solução *Greedy* quer da heurística de melhoramento. A configuração de sensores móvel irá otimizar a área não coberta pela configuração fixa, sendo admissível não ser necessário nenhum sensor adicional.

Resumo. O método 1 obriga a um aumento da matriz **matpd**, obrigando todas as soluções a incorporar a configuração fixa, enquanto o método 2 deforma a área de deteção, obrigando a otimização a correr sobre esse espaço deformado. Para incorporação no simulador completo será utilizado o método 2, por envolver uma menor carga de computação, especialmente importante ao usar as heurísticas de melhoramento com elevado número de iterações. A figura 59 apresenta o resultado do uso do método 2 num cenário onde existia um sensor fixo.

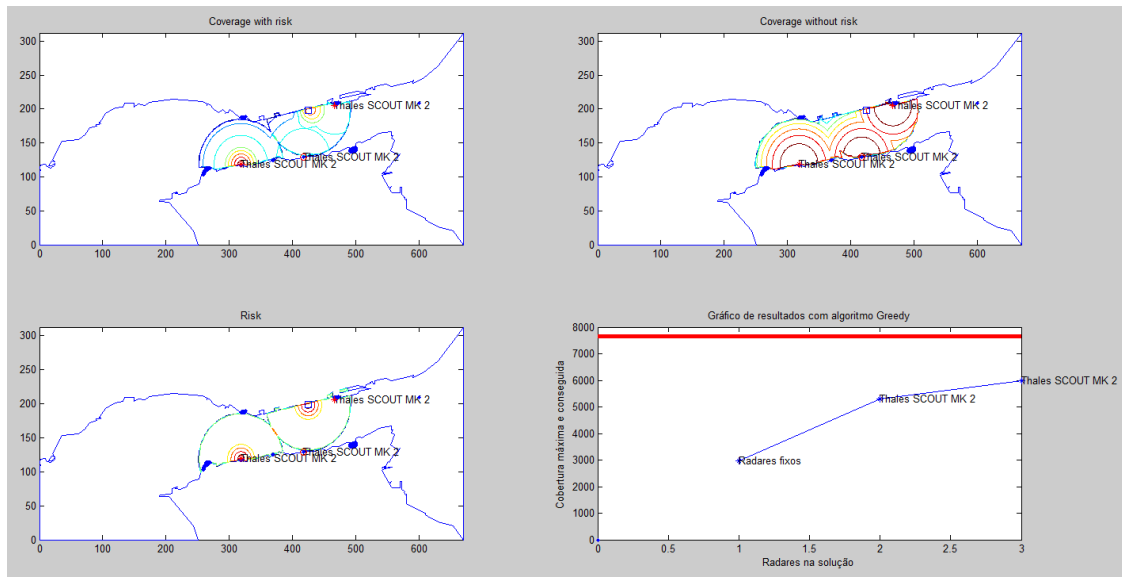


Figura 59. Resultados da otimização

Heurística *Greedy* num cenário com 1 sensor fixo com capacidade de partilha de dados, tendo sido usado o método 2.

4.4 CONTRIBUTOS

Integrado no *SecurePort*, foi efetuado o desenvolvimento integral de:

- Ferramenta de leitura de mapas digitais em formato comercial, extração e edição de polígonos de altitude e batimetria;
- Ferramenta de conversão de mapas vectoriais em mapas grade, de grão variável;
- Interface de comunicação com o utilizador, para edição de variáveis, edição e remoção de polígonos, posições de sensores e texto;
- Ferramenta de desenvolvimento de camadas vectoriais e granuladas de informação, incluindo áreas de probabilidade de deteção e visibilidade.

Com base nos dados recolhidos e editados pelo *SecurePort*, foram desenvolvidos de forma original:

- Método de grade para obtenção de visibilidades ponto a ponto num ambiente 3D;
- Heurística *Greedy*, para obtenção de uma boa solução na localização de sensores;
- Heurística de espiral descontinuada para a melhoria da solução *Greedy*;
- Adaptação da heurística *Greedy* e espiral descontinuada em cenários onde seja possível aceder a informação recolhida através de sensores pré-instalados.

CAPÍTULO 5. LOGÍSTICA E CUSTOS

O presente capítulo tem como objetivo a obtenção automática do custo de montagem, operação e desmontagem de um dispositivo projetado para defesa portuária antiterrorismo, a partir da necessidade de embarcações, sensores fixos e móveis. Para o efeito, foi desenvolvida uma folha de cálculo, de fácil edição e utilização.

5.1 DEFINIÇÃO

No meio militar, a função Logística, num sentido lato, é entendida como devendo proporcionar às Forças Armadas os meios (pessoal, material e serviços) necessários para satisfazer em quantidade, qualidade, momento e lugar adequados as exigências da guerra. Ainda no meio militar, a Logística Operacional ocupa-se da determinação das necessidades para atender aos requisitos das forças e o funcionamento dos meios correspondentes, nos momentos e lugares convenientes, incluindo-se nisso: a conceção, projeto e desenvolvimento, a procura, obtenção, armazenagem, transporte, distribuição e manutenção do material; a obtenção, alojamento, treino, distribuição e transporte do pessoal e a prestação de serviços às Forças.

A nível da Aliança Norte – Atlântica (NATO), a logística conjunta (comum a todos os ramos das forças armadas) e combinada (comum a todos os países da Aliança) tem a sua doutrina vertida na publicação AJP(4) (*Allied Joint Publication*). A existência desta publicação permite a uniformização de procedimentos e regras essenciais para o apoio logístico às forças em missão, entre ramos e países. A par da doutrina comum, os vários países da Aliança dispõem igualmente de doutrinas viradas para missões específicas e orientadas para os recursos disponíveis.

A operação logística (figura 60) pode ser dividida em 3 fases distintas, as quais necessitam de abordagens diferenciadas, designadamente projeção, operação e desmontagem (ou retração).

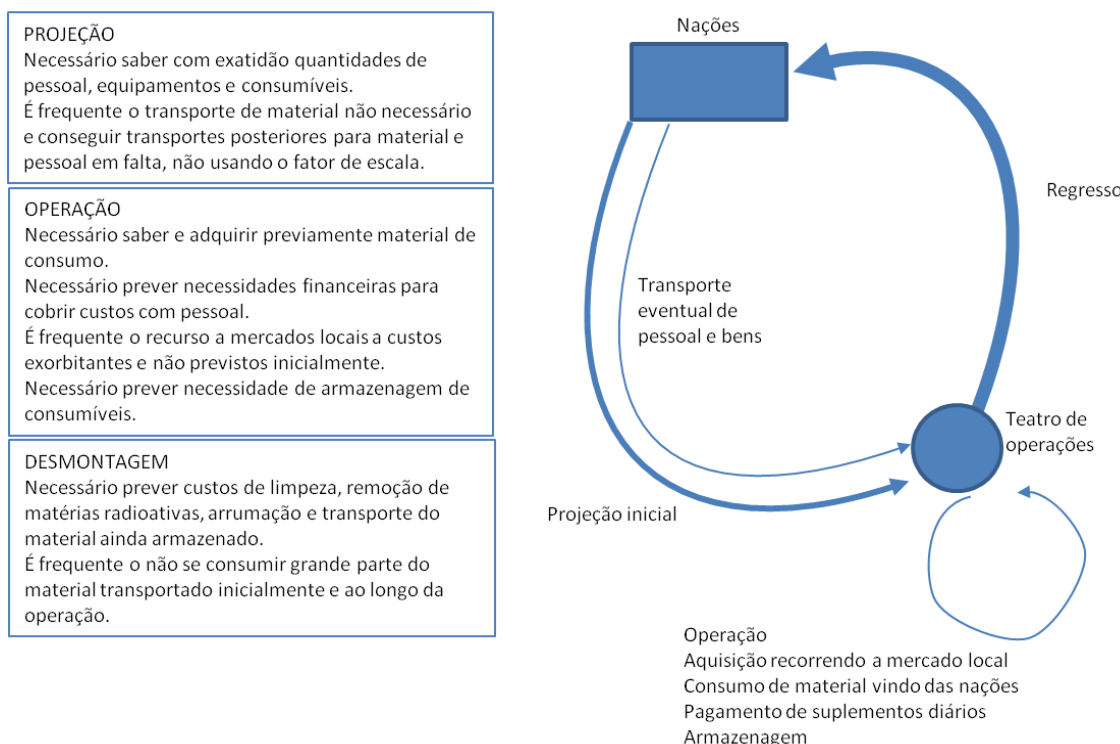


Figura 60. Logística Operacional Conjunta Combinada

- **Projeção.** Transporte de pessoal, armamento, munições e equipamento das várias nações para o teatro de operações, bem como a montagem do dispositivo; varia em função da quantidade de pessoal, volume e peso do material, opção assumida para o transporte (o transporte do material pode ser efetuado por navios próprios ou fretados e o transporte do pessoal por meios próprios, marítimos ou aéreos) e montagem (recurso a meios locais para movimentação e montagem ou contemplar esses meios no equipamento a transportar);
- **Operação.** Suporte das operações e armazenagem; emprego da força de segurança em missão de proteção portuária contra ataques terroristas (os custos envolvidos são relativos a combustível para geradores, motores de embarcações e viaturas, alimentação e água, pagamento do pessoal);
- **Retração.** Desmontagem e transporte de regresso para as nações de origem. Decorrem as mesmas opções postas na fase de projeção, sendo o custo função da quantidade de pessoal, volume e peso do material.

5.1.1 Principais problemas da logística operacional

Em Fernandes [33], foram analisados os grandes conflitos do final do século XX, na sua componente de Logística Operacional, com foco especial nos conflitos do Golfo, a partir do livro publicado por Pagonis *et* Cruickshank [77], responsável máximo pela logística operacional das forças dos EUA. Os custos finais de uma operação são sempre muito superiores aos inicialmente previstos, por causas várias, associadas a todas as fases da operação logística, designadamente:

- É ignorado o facto de, na presença de forças estranhas, os custos locais aumentarem de forma descontrolada, recorrendo-se ao mercado negro para obtenção de bens e equipamentos;
- Não existe uma relação de recursos necessários, sendo sempre transportado muito material que nunca chega a ser usado, encarecendo todas as fases da operação logística; mesmo recorrendo a bases de dados de lições aprendidas, este problema continua a subsistir porque:
 - Os equipamentos usados em operações anteriores foram descontinuados, devido ao avanço tecnológico;
 - Existem contentores de sobressalentes que são enviados para o teatro de operações apesar de os equipamentos usados serem outros. Esta situação sucede com carros de combate, viaturas, geradores, equipamentos de campanha, armamento e munições.
- Não é eficaz o uso de lições aprendidas. Apesar de existirem a nível NATO e das nações aliadas diversas bases de dados de lições aprendidas, são em formato de texto e raramente utilizadas;
- Não existe continuidade nas funções de responsável logístico de uma operação militar, pelo que se perde a experiência adquirida.

5.1.2 Financiamento

A nível financeiro, os custos totais de uma missão são sempre suportados pelo poder político, já que os orçamentos das forças armadas contemplam apenas a manutenção dos dispositivos e treino do pessoal. Face aos objetivos pretendidos pelo poder político, as Forças Armadas elaboram um planeamento de custos. Caso ultrapasse o orçamento disponível, regressa-se à fase de estudos e apresenta-se nova proposta.

O objetivo do trabalho, sumariamente descrito no presente capítulo foi o de conseguir o desenvolvimento de um algoritmo que, face às necessidades de meios operacionais, forneça automaticamente as necessidades de pessoal operacional, de comando e controlo, manutenção, apoio sanitário e administrativo, bem como de equipamentos e consumíveis operacionais, de apoio

ou suporte, custos de operação e manutenção. A existência deste algoritmo irá permitir uma mais célere discussão entre o poder político e o militar, de modo a acertar em tempo a relação entre orçamento e implementação dos objetivos políticos.

5.1.3 Custos

Os custos derivados de uma operação aliada decorrem fundamentalmente de:

- Gastos com pessoal. Apesar de poderem variar com o teatro de operações, são valores conhecidos com antecedência necessária. Incluem:
 - Subsídios de risco ou de missão, função da quantidade e posto do pessoal envolvido. A remuneração base, suportada pelo país de origem do militar, não é contabilizada.
 - Alimentação e medicamentos, função da quantidade de pessoal e do local da operação.
- Gastos de combustíveis. Podendo variar o custo com o decorrer da missão, o valor nos países de origem é razoavelmente estabilizado. Incluem:
 - Combustível e óleo para veículos, função da quantidade de motores e regime de utilização.
 - Combustível para geradores, função do consumo de equipamentos e instalações elétricas;
- Despesas de transporte. Valor dependente da opção tomada em termos de transporte via marítima ou aérea, com meio militares ou fretados. Incluem:
 - Transporte de pessoal e respetivo equipamento individual, função da quantidade de pessoal;
 - Transporte de equipamento: geradores, viaturas e contentores (peso e volume).
- Despesas de montagem e montagem
 - Transporte de portos ou aeroportos para o local de operações, montagem e desmontagem de material. Função do pessoal e equipamento transportados, de custo não controlado.

5.2 CÁLCULO AUTOMATIZADO DE CUSTOS

5.2.1 Custos unitários

Para efeitos do presente estudo, foram obtidos os custos de pessoal e combustíveis relativos a 01 de janeiro de 2013, sendo necessário mantê-los atualizados. Junto de especialistas logísticos da Marinha, foram identificados todos os equipamentos passíveis de serem usados em operações de proteção portuária, quer em funções de operação quer em funções de manutenção e apoio. Estes equipamentos foram medidos e pesados, para efeitos de controlo de peso e volumetria para transporte e montagem. Os custos unitários usados estão descritos no quadro 37.

Quadro 37. Custos unitários

Variável	Descrição	Unid
r_1 a r_4	subsídio de risco, por posto militar (oficial superior, oficial subalterno, sargento, praça) (quadro 38)	€
r_5	subsídio de alimentação por militar	€
r_6	custo local de litro de gasóleo	€
r_7	custo local de litro de gasolina	€
r_8	custo local de litro de óleo	€
w_1 a w_{63}	peso de 63 equipamentos identificados como podendo ser utilizados numa operação expedicionária (quadro 39)	Kg
v_1 a v_{63}	volume de 63 equipamentos identificados como podendo ser utilizados numa operação expedicionária (quadro 39)	m ³
ac_1 a ac_{11}	consumo de corrente alterna de 11 equipamentos elétricos, eletrónicos e conjuntos de iluminação (quadro 39)	kW
cc_1 a cc_{15}	tensão requerida em corrente contínua para 15 equipamentos elétricos e eletrónicos (quadro 39)	V

5.2.2 Variáveis independentes

As variáveis independentes são fornecidas pelo otimizador de sensores (O), pelo simulador (S), pelo utilizador (U) ou calculados de forma analítica (A), designadamente:

- z_1 : quantidade de embarcações em patrulha (S);
- z_2 : quantidade e qualidade dos sensores instalados em terra (O);
- z_3 : quantidade de postos de observação e reação (A);
- z_4 : consumo de combustível médio diário do total das embarcações em patrulha (S);
- d : duração da operação, em dias (U).

O custo é obtido por:

$$f(z_1, z_2, z_3, z_4, d) = custo_{pessoal} + custo_{consumiveis} + custo_{transporte} \quad (5.1)$$

Determinação da quantidade de postos de observação e reação (z_3). Os postos de observação e reação destinam-se a impedir por meios não letais a entrada na área crítica de plataformas ou pessoas sem a classificação NTER (classificado positivamente como não exercendo atividades suspeitas). A determinação da quantidade e localização dos postos de observação e reação, z_3 , é função do alcance efetivo dos efectores e do raio da área crítica, e o seu valor é obtido por arredondamento ao próximo inteiro de:

$$Q = \frac{c}{2 \cdot \sqrt{a^2 - b^2}} \quad (5.2)$$

em que c é a extensão da fronteira da área de elevado valor com o espelho de água; a o alcance eficaz dos efectores; b o raio da área crítica. Os postos devem ficar distanciados de c/z_3 a partir de uma distância $c/(2 \cdot z_3)$ de um dos limites da área de elevado valor (figura 61). Este problema apenas tem solução caso o alcance eficaz dos efectores seja superior ao raio da área crítica, cabendo ao utilizador seleccionar outro sistema de contenção dos terroristas caso contrário.

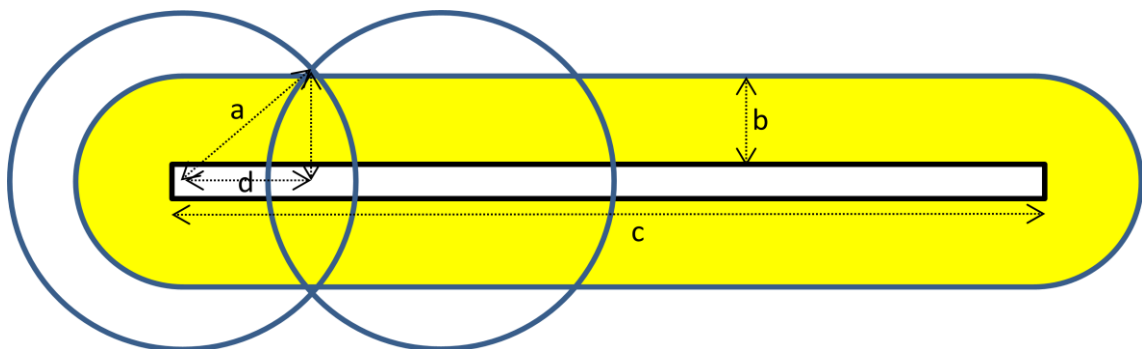


Figura 61. Cálculo da quantidade e localização de postos de observação

5.2.3 Variáveis dependentes

As variáveis dependentes têm custos associados e indicam a quantidade de cada recurso necessária para a operação, sendo obtidos a partir das variáveis independentes descritas anteriormente.

Pessoal. Os recursos humanos podem ter 4 categorias, associadas ao posto militar e 7 tipos, associados às funções a desempenhar (quadro 38). As quantidades por posto e função são descritas por:

$$H_{i,j} \in N, \forall i = 1, \dots, 4, \forall j = 1, \dots, 7 \quad (5.3)$$

Quadro 38 Descrição de postos e funções do pessoal

<i>i</i>	Significado	<i>j</i>	Significado
1	Capitão-Tenente ou Major	1	Comando
2	1º ou 2º Tenente, Capitão ou Tenente	2	Reação
3	Sargento	3	Patrulha
4	Praça	4	Medicina
		5	Cozinha
		6	Administração
		7	Manutenção (eletrônica, mecânica)

Equipamentos

Foram identificados 63 equipamentos, descritos no quadro 39, bem como os respetivos pesos, volumes e necessidades de pessoal especializado para operação e manutenção. As quantidades de cada equipamento são descritas por:

$$E_i \in N, \forall i = 1, \dots, 63 \quad (5.4)$$

Quadro 39 Descrição de equipamentos e consumíveis

1	Ar condicionado	17	Contentor refrigerado	33	Gasóleo (l)	49	Arma com tripé
2	Munição 1	18	Detergente (l)	34	Gasolina (l)	50	Equipamento de visão noturna
3	Munição 2	19	Efector acústico	35	Gerador 5KVA	51	Óleo (l)
4	Arma automática	20	Efector Luz	36	Gerador 60KVA	52	Motor fora de borda
5	Bateria 1.5V	21	Efector submarino	37	Lanterna de sinais	53	Rádio pessoal
6	Bateria 12V	22	Cabo elétrico (m)	38	Kit pessoal	54	Pistola
7	Binóculos	23	Conector elétrico	39	Equipamento IV portátil	55	Água potável (l)
8	Aparato de abordagem	24	Cadeira de campo	40	Bote insuflável e kit	56	Arame farpado
9	Sonar de bote	25	Secretária de campo	41	Lâmpada	57	Fita refletora
10	Carregador 1.5V	26	Cozinha de campo	42	Laptop	58	Luz de segurança
11	Carregador 12V	27	Lavandaria de campo	43	Altifalante	59	Saco de areia
12	Mesa cirúrgica	28	Contentor pessoal de campo	44	Kit de manutenção de armamento	60	Holofote fixo
13	Comunicações administrativas	29	Chuveiro de campo	45	Kit de manutenção eletrónico	61	Holofote portátil
14	Comunicações estratégicas	30	Tenda de campo	46	Kit de manutenção mecânico	62	Luz Strobe
15	Comunicações táticas	31	Sanitário de campo	47	Contentor médico	63	Viatura tática
16	Contentor munições	32	Lanterna	48	Kit médico de campo		

5.2.4 Processo de atomização

A Logística Operacional não determina o que deve ser projetado mas apenas como projetar, manter e recolher forças e equipamento de forma eficiente. O conceito de atomização agora apresentado (figura 62) aborda igualmente a fase de planeamento de forças, onde determina a quantidade e qualidade de pessoal, equipamento e outro material a transportar e manter. Esta opção foi tomada devido à necessidade de, com apenas uma ferramenta, se obter o custo final de uma operação. À vista das doutrinas NATO e nacionais, tal opção carece de aprovação, fase não contemplada no presente estudo.

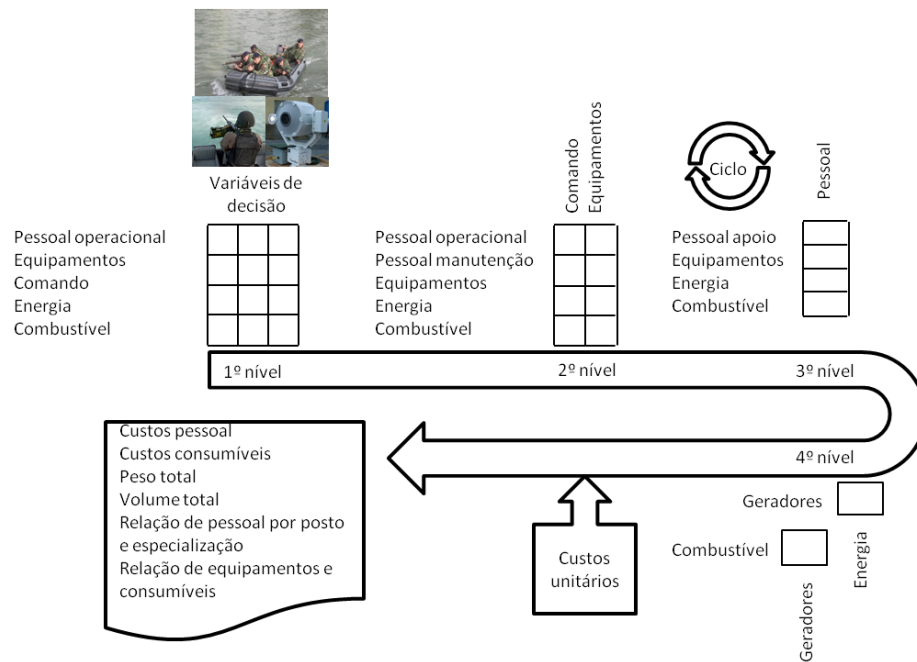


Figura 62. Processo de atomização

Pretende-se com o processo de atomização que cada recurso a transportar e manter (variáveis dependentes) seja função das variáveis independentes. As variáveis dependentes têm diretamente associados os custos individuais, seja por pessoa, por litro, quilo ou metro cúbico, podendo utilizar-se as equações (5.5) a (5.7) para determinar o custo total da operação:

$$custo_{pessoal} = d(r_5(\sum_{i=1}^4 \sum_{j=i}^7 H_{ij}) + \sum_{i=1}^4 (r_i(\sum_{j=1}^7 H_{i,j}))) \quad (5.5)$$

$$custo_{consumiveis} = r_6 E_{33} + r_7 E_{34} + r_8 E_{51} \quad (5.6)$$

$$custo_{transporte} = \alpha_w(\sum_{i=1}^{63} E_i w_i) \text{ ou } custo_{transporte} = \alpha_v(\sum_{i=1}^{63} E_i v_i) \quad (5.7)$$

Uma variável independente considera-se atomizada quando não for possível obter maior detalhe ou explicação. Alguns recursos, como o pessoal operacional, são obtidos diretamente das variáveis independentes. Os restantes, como o pessoal de apoio, combustível, alimentação e outros, dependem quer das variáveis independentes quer de necessidades decorrentes da atomização. Por exemplo, os metros de cabo de ligação elétrica (variável E_{22}), e geradores (variáveis E_{35} e E_{36}), apenas são obtidos após ser conhecida a totalidade dos restantes equipamentos necessários para a operação.

Cada necessidade foi detalhada com recurso a conhecimentos empíricos de pessoal Fuzileiro, com experiências obtidas em operações reais ou exercícios. Todos os passos seguidos necessitam de ser validados caso sejam aplicados em operações reais ou exercícios.

Para obter uma completa descrição dos recursos em função das variáveis independentes, foram necessários cinco patamares de atomização. A quantidade de patamares foi a considerada necessária para descrever todas as necessidades em termos de recursos básicos. Após a dedução de todos os patamares, é possível obter necessidades totais, volumes e peso a transportar, bem como custos associados, a partir das variáveis independentes.

Primeiro patamar. Dedução de variáveis de 1º nível a partir das variáveis independentes.

No quadro 40, apresenta-se o detalhe por embarcação de patrulha (z_1), em que foram identificados 18 recursos por embarcação. No quadro 41 é atomizada a variável nº de sensores em terra, apresentando-se no quadro 42 o mesmo processo para o nº de postos de reação em terra. Para o preenchimento destes quadros foi imprescindível a colaboração de especialistas da Marinha.

Quadro 40. Descrição de 1º nível da variável nº de embarcações de patrulha (z_1)

Recursos necessários para a operação de uma embarcação	Possível obter maior detalhe?	Observações
Centro de comando e controlo	Sim	Controlo das operações
Pessoal operacional	Sim	Para manter uma embarcação em patrulha H24, com 3 praças embarcados, são necessárias 4 equipas completas mais 1 sargento para coordenar.
Motor	Sim	Para manter uma embarcação em patrulha H24, são necessários 4 motores
Casco	Sim	Para manter uma embarcação em patrulha H24, são necessários 4 cascos
Comunicações táticas	Sim	1 equipamento por embarcação
Comunicações administrativas	Sim	1 equipamento por embarcação
Palamenta	Não	1 palamenta por bote. O Kit com a palamenta é padronizado, não necessitando de manutenção, pelo que se considera não permitir maior detalhe.
Holofote portátil	Sim	1 equipamento para a embarcação em patrulha e 1 para a embarcação que a rende
Altifalante portátil	Sim	1 equipamento para a embarcação em patrulha e 1 para a embarcação que a rende
Efecto anti-mergulhador	Sim	1 equipamento embarcado (poderá ser considerada a necessidade de 2 equipamentos, caso apenas exista em embarcação em permanência)
Sonar	Sim	1 equipamento embarcado (poderá ser considerada a necessidade de 2 equipamentos, caso apenas exista apenas 1 embarcação em permanência)
Amplificador de luz estelar	Sim	1 equipamento embarcado (poderá ser considerada a necessidade de 2 equipamentos, caso apenas exista em embarcação em permanência)
Equipamento de infra vermelhos	Sim	1 equipamento embarcado (poderá ser considerada a necessidade de 2 equipamentos, caso apenas exista em embarcação em permanência)
Binóculos	Não	Equipamento cuja manutenção apenas pode ser feita em oficina ótica, pelo que oferece possibilidade de maior detalhe
Lanterna	Sim	1 equipamento embarcado (poderá ser considerada a necessidade de 2 equipamentos, caso apenas exista em embarcação em permanência)
Luz "Strobe"	Sim	1 equipamento embarcado (poderá ser considerada a necessidade de 2 equipamentos, caso apenas exista em embarcação em permanência)
Luz de segurança	Sim	1 equipamento embarcado (poderá ser considerada a necessidade de 2 equipamentos, caso apenas exista em embarcação em permanência)
Equipamento de abordagem	Sim	1 equipamento embarcado (poderá ser considerada a necessidade de 2 equipamentos, caso apenas exista em embarcação em permanência)

Quadro 41. Descrição de 1º nível da variável nº de sensores em terra (z_2)

Recursos necessários para a operação de um sensor em terra	Possível obter maior detalhe?	Observações
Centro de comando e controlo	Sim	Controlo das operações
Pessoal de manutenção eletrónico	Sim	1 hora diária. Cada homem tem capacidade de apoiar tecnicamente equipamentos eletrónicos 12 horas por dia.
Potência elétrica	Não	2 KW
Cabo elétrico	Não	50 metros
Kit de manutenção	Não	1 Kit

Quadro 42. Descrição de 1º nível da variável nº de postos em terra (z_3)

Recursos necessários para a operação de uma embarcação	Possível obter maior detalhe?	Observações
Centro de comando e controlo	Sim	Controlo das operações
Pessoal operacional	Sim	Para manter um posto H24, com 3 praças, são necessárias 3 equipas completas mais 1 sargento para coordenar.
Comunicações táticas	Sim	2 equipamentos por posto
Comunicações administrativas	Sim	2 equipamentos por posto
Holofote portátil	Sim	1 equipamento por posto
Holofote fixo	Sim	1 equipamento por posto
Saco de areia	Não	40 por posto
Altifalante portátil	Sim	1 equipamento por posto
Efeitor acústico	Sim	1 equipamento por posto
Efeitor visual	Sim	1 equipamento por posto
Amplificador de luz estelar	Sim	1 equipamento por posto
Equipamento de infra vermelhos	Sim	1 equipamento por posto
Binóculos	Não	1 equipamento por posto
Lanterna	Sim	1 equipamento por posto
Arma com tripé	Sim	1 equipamento por posto
Luz de segurança	Sim	1 equipamento por posto

A variável independente z_4 permite obter diretamente o recurso de litros de gasolina, após a obtenção de uma estimativa de gastos diários no simulador. A relação entre as variáveis independentes z_1 a z_3 e os recursos, exposta nas colunas de observações, pode variar de país para país, de ramo militar para ramo militar e mesmo de militar para militar. Assumiram-se aqui os valores obtidos de forma consensual entre vários responsáveis pelo levantamento de forças dentro dos Fuzileiros. Alguns recursos encontram-se já na sua forma atomizada (palamenta do bote, binóculos, potência elétrica, cabo elétrico, kit de manutenção eletrónico, saco de areia), não sendo possível conseguir explicá-las de forma mais detalhada.

Do 1º patamar decorrem as seguintes necessidades de pessoal de patrulha e reação:

$$H_{43} = z_1 * 12; H_{33} = z_1; H_{42} = z_3 * 9; H_{32} = z_3; H_{37} = 0.1 * z_2 \quad (5.8)$$

e os seguintes custos em €:

$$custos_{pessoal} = d * (r_5 * \sum_{i=1}^4 \sum_{j=1}^7 H_{ij} + \sum_{i=1}^4 r_i \sum_{j=1}^7 H_{ij}) \quad (5.9)$$

Apesar de ser referida a necessidade de pessoal de manutenção eletrónica, este pessoal irá ser ainda função de outros recursos que ainda não foram equacionados, pelo que o arredondamento para o próximo inteiro apenas será efetuado no final da atomização. Da necessidade de pessoal decorrem outras necessidades, tais como equipamentos de segurança, vestuário, apoio logístico e sanitário, os quais serão detalhados nos restantes patamares. O segundo patamar de atomização irá considerar como variáveis independentes todos os recursos não atomizados no primeiro patamar, ficando o processo finalizado quando todos os recursos forem atomizados (não for possível a decomposição). Alguns recursos foram considerados já como atomizados, tomando como exemplo os binóculos. Apesar destes equipamentos possuírem componentes internos, a sua reparação não pode ser efetuada sem ser com recurso a oficinas especializadas, pelo que não se considera

necessário recorrer a sobressalentes. Para o segundo patamar, para além dos recursos não atomizados e valores de pessoal passam os seguintes valores de recursos já acumulados:

$$E_8 = z_1; E_7 = z_1 + z_3; E_{22} = z_2 * 50m; E_{59} = z_3 \quad (5.10)$$

$$\text{potência elétrica} = z_2 * 2kw \quad (5.11)$$

A potência elétrica acumulada será necessária para cálculo da quantidade de geradores a transportar.

Segundo patamar. Dedução de recursos para os quais existe possibilidade de obter maior detalhe.

Do primeiro patamar são recebidos todos os recursos ainda não atomizados e o acumulador de recursos atomizados. Os valores usados correspondem a uma opinião consolidada dos especialistas consultados, não os vinculando nem à organização a que pertencem. A necessidade de assistência técnica por especialista de telecomunicações pode ainda variar face à experiência pessoal com o equipamento em causa. Existindo pessoal e equipamentos a operar, surge no 2º patamar a necessidade de um posto de comando e controlo. Assume-se que a sua existência é essencial para a componente de comando, controlo, coordenação e comunicação, sendo decomposta em necessidades de pessoal e equipamentos. Para o terceiro patamar passam os recursos não atomizados do segundo e o acumulador de recursos atomizados, resultante dos dois primeiros patamares.

Terceiro patamar. Dos patamares anteriores resultou uma relação pormenorizada de necessidades de pessoal operacional (condução de embarcações, centros de comando e controlo, postos de observação) e pessoal de manutenção diretamente ligado a aspetos operacionais.

O terceiro patamar é dedicado ao cálculo da necessidade de material e pessoal de apoio (tendas e respetivos acessórios, casas de banho, chuveiros, material hospitalar, contentores refrigerados, transportes terrestres, secretarias, enfermarias e outros).

Este patamar é resolvido em 3 fases, observando o seguinte processo:

- 1ª fase (decorrente da quantidade de pessoal operacional e de manutenção especializada identificada nos dois primeiros patamares): identificar as necessidades em termos de cuidados de saúde, apoio administrativo, apoio alimentar, apoio a nível de transportes, apoio sanitário e manutenção geral.
- 2ª fase (decorrente das necessidades identificadas na 1ª fase): identificar necessidade de tendas de campanha, casas de banho, cozinhas, lavandarias, oficinas, contentores refrigerados e outros para o funcionamento dos serviços de apoio e quantidade e qualidade de pessoal para os serviços de apoio.
- 3ª fase, regressar à 1ª fase com o total de pessoal apurado na 2ª fase. Interromper o ciclo logo que ao fim de 2 iteradas consecutivas a quantidade de pessoal se mantiver inalterada.

Quarto patamar. São detalhadas as necessidades inerentes aos equipamentos de saúde, alojamento, bem-estar, apoio administrativo, sanitário, transportes e manutenção. Incluem-se igualmente as necessidades de baterias para equipamentos de corrente contínua, carregadores e munições.

Quinto patamar. Decorrente das necessidades de energia elétrica obtidas em todos os patamares anteriores, são calculadas as necessidades em termos de geradores elétricos e de combustível e óleo para o seu funcionamento. Foram usados consumos médios para 70% da carga e 24 horas de funcionamento.

5.2.5 Cômputo global

Após dedução das relações, a folha de cálculo desenvolvida necessita apenas que sejam fornecidas as variáveis independentes (z_1, z_2, z_3, z_4, d), para obtenção das quantidades H_{ij} , E_i , e total de custos, volumes e pesos.

5.3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O principal contributo deste capítulo foi o desenvolvimento de um algoritmo para obtenção de necessidades de pessoal e equipamentos bem como custos, volume e peso bem como de uma folha de cálculo com o algoritmo implementado.

Os detalhes de cada recurso decorreram da consulta a diversos militares, não os vinculando individualmente nem à organização a que pertencem. A informação recolhida carece de experimentação, já que atualmente não é prática corrente a realização deste tipo de operações. A folha de cálculo obtida é no entanto um aceitável ponto de partida para o desenvolvimento de uma ferramenta de apoio ao planeamento de forças, permitindo ainda a incorporação de lições aprendidas (nas relações entre variáveis dos vários níveis) e o impacto financeiro da introdução de novas tecnologias ou doutrinas.

CAPÍTULO 6. SIMULADOR - MODELOS

Um cenário portuário envolve centenas de atores independentes, com diversas atividades paralelas não relacionadas entre si. Uma missão de segurança contra ataques terroristas não tem, felizmente, resultados históricos que permitam recolher ensinamentos empíricos que possam ser usados para modelar sistemas de segurança. Sendo os resultados de uma má operação catastróficos, com possíveis perdas de inúmeras vidas humanas e incalculáveis prejuízos económicos, sociais e culturais, o recurso a ferramentas mímicas, como a simulação, é mais do que justificado. Em Robinson [97], a simulação é empregue exatamente nestas situações, apresentando como exemplo a simples necessidade de modelar um terminal de aeroporto, mesmo não considerando qualquer cenário catastrófico. Devido à presença de inúmeros agentes inteligentes, com quantidades, origens e intenções distintas, todas elas variáveis, influenciando de diversas formas o sistema de segurança, o sistema está sujeito a variância e complexidade (combinatorial e dinâmica). O uso de um simulador permite prever o desempenho de um determinado dispositivo de segurança, comparar diferentes posturas iniciais e determinar o efeito de determinadas práticas no resultado final.

No capítulo 2 foram desenvolvidos cenários e definidas variáveis a serem testadas. No capítulo 3 foram desenvolvidas regras de empenhamento de sensores e embarcações, a partir de cenários simplificados. No capítulo 4 foi desenvolvida a capacidade de definição de locais de colocação e seleção de sensores. No capítulo 5 desenvolveu-se o cálculo automático do custo de uma operação de proteção portuária. Pretende-se agora desenvolver um simulador com capacidade de modelar as variáveis descritas no capítulo 2, incorporando as regras definidas no capítulo 3, implementando os algoritmos do capítulo 4, considerando os custos do capítulo 5 e fornecendo diversos indicadores associados ao desempenho do dispositivo de segurança. Esses indicadores serão depois usados por uma heurística que otimizará o desenho das áreas de patrulha. Devido à complexidade inerente ao sistema, serão apresentados dois capítulos, o primeiro designado por SIMULADOR-MODELOS e o segundo por SIMULADOR-EXPLORAÇÃO.

6.1 MODELAÇÃO DO SIMULADOR

6.1.1 Parâmetros do simulador

- **Passagem do tempo.** Para o problema em estudo, com atores inteligentes cuja atuação varia com a observação dos restantes atores, a mudança de estado é praticamente contínua. No entanto, devido à complexidade dos cenários, terá de ser estabelecido um intervalo de tempo, ou *time-step*, de forma a tentar manter a fluidez da dinâmica portuária sem penalizar em demasia o tempo necessário para correr a simulação. Como t_s máximo, será utilizado o valor de 1/100 hora, ou 36seg. Sendo as velocidades de cruzeiro das embarcações portuárias da ordem dos 8nó, um intervalo de tempo de 36seg equivale a 160jj entre posições ocupadas.
- **Variáveis iniciais.** As variáveis aleatórias, adversariais e de decisão seguem o desenhado no capítulo 2, cenário operacional completo.
- **Resultados de saída de cada simulação.** De modo a permitir analisar a relação entre variáveis iniciais, o simulador deve apresentar, no final de cada simulação:
 - Sucesso dos terroristas, razão entre terroristas com sucesso e total de terroristas;
 - Densidade da navegação, georreferenciada e temporal, durante o período da simulação;
 - Rotas dos terroristas (superfície e mergulhadores), com identificação de tempos, perfis de ataque e sucesso;

- Fita de tempo com instantes de interações com terroristas, incluindo os ataques com sucesso, classificações com sucesso e terroristas divergidos (encetaram fuga);
- Custo monetário, em Euro;
- Constituição da força (pessoal e equipamento).
- **Visualização da simulação.** Em cada instante, deve ser visualizada a posição atual e intenções de todos os agentes, permitindo:
 - Maior compreensão do modelo, quer para o desenvolvimento quer para o utilizador final;
 - Facilitar a verificação e validação dos comportamentos dos agentes;
 - Permitir experimentação, verificando os resultados de introdução de novas variáveis;
 - Fáceis relacionamentos entre os resultados finais e as opções iniciais;
 - Que os utilizadores se identifiquem com o modelo, verificando que os acontecimentos replicam a realidade;
- **Software de desenvolvimento.** O *software* foi desenvolvido de raiz em MATLAB^(R), uma linguagem de alto nível que permite uma rápida implementação de protótipos, possuindo uma boa biblioteca de funções para geometria computacional.
- **Modelação de atividades locais.** Num ambiente portuário complexo, sucedem em simultâneo no mesmo espaço diversas atividades com objetivos diferentes. Tomando como exemplo o Porto de Lisboa, consultando o edital da Capitania [12], o portal da APL (Administração do Porto de Lisboa) [1] e a experiência pessoal do signatário, identificam-se as atividades descritas em apêndice.
- **Informação geográfica.** A informação geográfica deve ser recolhida a partir de mapas eletrónicos em formatos com largo uso comercial.
- **Sensores.** Os sensores a serem empregues serão selecionados de entre uma lista de disponíveis nas nações NATO. Desses, apenas serão empregues aqueles que trouxeram algum ganho para o dispositivo de segurança. Os sensores associados a plataformas são o visual e o sonar ativo direcional. Considera-se que numa embarcação em movimento os tripulantes cobrem visualmente um setor de 90º centrado na proa, enquanto os sonares usados na Marinha de Guerra Portuguesa cobrem um setor de 60º centrado igualmente na proa.

6.1.2 Modelação de variáveis

- **Informação geográfica.** Para efeitos de desenho de áreas e movimentação, a informação geográfica em latitude e longitude deve ser convertida para coordenadas x-y em jardas, utilizando como referencial a latitude média do cenário. Caso a informação geográfica seja originária de diversas fontes, é necessário garantir que utilizam o mesmo elipsoide de referência, preferencialmente a norma WGS 84, utilizado para posicionamento global. Esta norma define as altitudes em relação ao nível médio do mar, enquanto os quadros de marés locais utilizam o zero hidrográfico. A diferença entre o zero hidrográfico e o nível médio dos mares tem que ser obtida localmente. Para efeitos do cálculo de probabilidades de deteção é necessário converter a informação geográfica vectorial em informação *raster* (ou mapa de *bits*). Os mapas *raster* têm a informação guardada por *pixel*, a qual será usada para as coberturas dos sensores e valores das correntes de maré.
- **Curvas de probabilidade de deteção de Sensores.** As curvas de probabilidade de deteção acumulada (CPDA) de cada sensor podem ser obtidas ou por experimentação ou por recurso a modelos teóricos de probabilidade de deteção ou reconhecimento instantâneas. Considere-se que a probabilidade de deteção varia entre 1, para uma distância 0 e 0 para uma distância a

determinar. A curva é então desenhada entre esses dois limites, seguindo declives mais ou menos inclinados. Para efeitos de experimentação com diferentes curvas, o sistema considera uma de declive em S invertido (sigmoidal) e uma com um declive linear (linear).

- Sigmoidal. É usada a sigmoidal (6.1) para traçar as curvas de probabilidade acumulada de deteção,

$$f(x; a, b) = \begin{cases} 1 & \text{caso } x \leq a \\ 1 - 2 \left(\frac{x-a}{b-a} \right)^2 & \text{caso } a \leq x \leq \frac{a+b}{2} \\ 2 \left(\frac{x-b}{x-a} \right)^2 & \text{caso } \frac{a+b}{2} \leq x \leq b \\ 0 & \text{caso } x \geq b \end{cases} \quad (6.1)$$

onde a e b denotam o início e fim do declive. Para efeitos de simulação, considera-se que a corresponde à distância 0 e b à distância máxima de deteção, em condições de propagação médias. Nestas condições, a equação (6.1) é idêntica a (4.31).

- Linear. É usada a seguinte equação, semelhante a (4.32), para obtenção da probabilidade de deteção acumulada de um radar tipo k , implantado em i , sobre um alvo em j , a uma distância d_{ij} inferior à distância máxima de deteção b_k :

$$f(x; b_k) = 1 - \frac{x}{b_k}, \quad 0 \leq x \leq b_k \quad (6.2)$$

As curvas são ainda associadas a um *target radar cross section* (decorrente da tipologia da navegação local) e a condições ambientais. As curvas são guardadas num vector por tipo de radar, de dimensão b/g , em que g é o grão definido pelo utilizador:

$$V\{k, m, \dots, z\}(i) = f(i; a_{k,m,\dots,z}, b_{k,m,\dots,z}) \quad (6.3)$$

em que V é um *cell array*¹², k é o índice do tipo de navegação, m a z são valores discretos de condições ambientais, i varia entre 1 e b/g , a e b são início e fim da inclinação¹³ de sensor, específicos para cada tipo de embarcação e conjunto de condições ambientais, f é a função usada para definir a CPDA do sensor. Para diminuir a complexidade e a carga da memória, considera-se apenas um tipo de embarcação por sensor e uma condição ambiental.

- **Coberturas de sensores.** Para se obter a probabilidade de deteção ou reconhecimento por uma rede de sensores podem ser considerados dois métodos:
 - Interrogação instante a instante. Interrogação individual de cada sensor, em cada instante, para cada embarcação; carece do cálculo da distância entre cada sensor e a embarcação, da verificação da visibilidade e a consulta de um quadro ou a resolução de uma equação; para 2400 instantes, 500 embarcações e 12 sensores, são realizados 14.400.000 cálculos de distâncias, 14.400.000 cálculos de visibilidade e 14.400.000 consultas; havendo necessidade de correr diversas simulações com a mesma rede de sensores, repetem-se os cálculos.
 - Mapa raster. Criação antecipada de um mapa *raster* com coberturas de sensores e interrogação da informação contida nesse mapa para obter a probabilidade de deteção de uma embarcação; não é necessário calcular distâncias nem consultar quadros ou calcular

¹² Matriz que em cada célula guarda uma estrutura de dados

¹³ O início da inclinação coincide com a antena do sensor, o fim com o alcance máximo.

visibilidades e havendo necessidade de correr várias simulações com a mesma rede de sensores, utiliza-se sempre o mesmo mapa *raster*.

- Comparação entre métodos. Caso a área de operações seja muito extensa, a densidade de embarcações muito baixa, sejam usados poucos sensores, um *ts* muito elevado e não se pretendam repetições da simulação, o método 'interrogação instante a instante' consome menos tempo computacional. No entanto, para o presente cenário, do porto de Lisboa, tal não sucede. O número de embarcações é elevado, a área de operações é média, os sensores são em elevado número e há necessidade de pelo menos 5 repetições de cada simulação. Por esse motivo, o simulador utilizará a informação de deteção contida em mapas *raster*.
- **Correntes de maré.** Utilizando mapas *raster*, a cada quadrícula corresponderá um sentido e uma intensidade de corrente, com variação horária. Na dinâmica do cenário, é obtida a hora a que decorre o evento, a posição da embarcação ou mergulhador a movimentar e consultada a respetiva célula do mapa correspondente.
- **Espelho de água.** A área navegável pode variar em função do tempo, devido à maré. Devido à dificuldade dos cálculos dos polígonos navegáveis, optou-se por usar apenas a área correspondente ao nível médio dos mares. Apenas em locais de fundos baixos existirá uma distorção da realidade.
- **Análise dos processos reais.** Fruto da experiência recolhida junto das autoridades portuárias de Lisboa, são de aceitar e incorporar as seguintes observações:
 - A mesma área é utilizada por embarcações de diversas dimensões, oriundas de diversos locais, a praticar diversas atividades, com vários perfis de atuação e a diferentes horas;
 - Do mesmo local saem embarcações de diversas dimensões, para vários locais, para praticar diversas atividades a diferentes horas;
 - Por norma, as embarcações que praticam atividades de pesca e recreio regressam sempre ao ponto de origem, ao fim de um determinado período de tempo, variável conforme o tipo de embarcação e a atividade praticada;
 - Independentemente do sistema de pilotagem, toda a navegação se desvia de terra, dos fundos perigosos e da restante navegação;
 - O grande pico de atividade situa-se entre o nascer e o pôr do sol;
 - Alguma atividade tem atitudes evasivas relativamente a agentes de autoridade.
- **Áreas de atividade.** Utilizando uma ferramenta para criação de áreas definidas por vértices, sobre a informação geográfica existente é necessário desenhar:
 - Todas as áreas de onde largam ou onde atracam embarcações, atribuindo-lhes uma descrição para posteriores associações; no caso do Porto de Lisboa, sobre as docas, marinas e cais existentes, traçar uma área adjacente dentro da qual possam ser criados todos os contactos que se espere dela saírem, para a qual regressem todos os contactos oriundos de atividades de pesca e recreio e à qual chegue toda a navegação a ela destinada;
 - Todas as áreas de entrada no porto para a navegação vinda e destinada ao exterior, quer para montante quer para jusante, atribuindo-lhes uma descrição;
 - Todas as áreas de atividade relacionadas com a prática de pesca profissional, amadora e recreio, atribuindo-lhes uma descrição.
- **Tipos de embarcações.** Utilizando um interface para introdução manual de dados, recolher:
 - Descrição do tipo de embarcação e velocidade máxima disponível;

- Velocidade de cruzeiro no porto (de acordo com a Capitania do Porto de Lisboa [12], a velocidade máxima no porto é de 10nó); será a velocidade praticada por embarcações em trânsito, desde que inferior à velocidade máxima disponível;
- Velocidade de trabalho (a ser usada para embarcações ou mergulhadores exercendo atividades de pesca e recreio quando não estão em trânsito de e para os locais de atracação ou fundeadouros);
- Duração do dia de trabalho, a ser usada para embarcações ou mergulhadores em atividades de pesca e recreio;
- Possibilidade de ser usada por terroristas. Dependendo do cenário e da recolha de informação, apenas algumas embarcações são suscetíveis de serem usadas para praticar atos terroristas. É um valor binário, indicando a opinião do utilizador.
- **Associação de áreas, atividades e tipos de atividades.** Utilizando um interface apropriado, o utilizador deve ter acesso a todas as áreas que constituem portas de entrada no cenário, permitindo o processo indicado na figura 63.
 - Para cada porta de entrada, o utilizador deve ter acesso a todas as tipologias de navegação presentes no cenário;
 - Para cada porta de entrada e tipo de navegação, o utilizador deve poder seleccionar uma área de destino imediato ou uma área de atividade de pesca ou recreio, bem como as quantidades horárias de embarcações de um determinado tipo que saindo da porta de entrada seleccionada se dirigem para o local seleccionado;
 - Caso o local seleccionado seja uma área de atividade de pesca ou recreio, assume-se que no final da atividade a embarcação ou mergulhador regressa à porta de entrada; durante os trânsitos para o local de atividade e regresso, bem como no interior da área de atividade, obedece às regras de navegação locais;
 - Caso o local seleccionado seja uma porta de saída, a embarcação efetua o trajeto direto, obedecendo às regras de navegação locais;
 - A duração da atividade de pesca ou recreio está definida na tipologia da embarcação. Após entrada na área de atividade, deve ser iniciada a contagem de tempo de trabalho, finda a qual a embarcação ou mergulhador inicia a viagem de regresso;

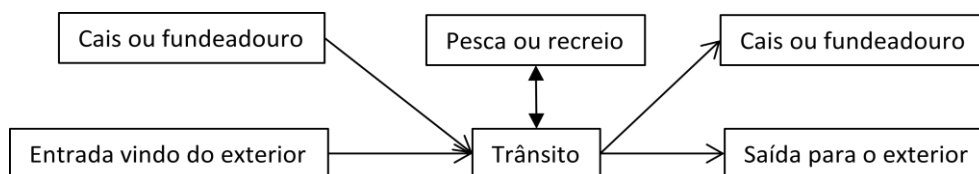


Figura 63. Processos associados às atividades portuárias

6.1.3 Modelos computacionais para atividades da população local

O simulador deve ter a capacidade de: reconhecer a entrada na área de atividade; iniciar a contagem de tempo, compará-la com a autonomia da embarcação e iniciar a viagem de regresso quando esgotada a autonomia; utilizar a velocidade de trabalho da embarcação ou mergulhador no interior da área de atividade; garantir que a embarcação ou mergulhador se mantém no interior da área de atividade durante todo o período de trabalho; os rumos seguidos pela embarcação ou mergulhador são os esperados para o tipo de embarcação.

6.1.4 Modelos computacionais para navegação

- Seleção de rotas. Foi desenvolvido um conceito de navegação através de obstáculos representados por polígonos. Para efeitos de implementação, é necessário conseguir que os trajetos não sejam tangentes à linha de costa, já que na realidade as embarcações deixam sempre algum resguardo às zonas de perigo. Por outro lado, o algoritmo contempla um movimento contínuo, em que numa determinada posição a embarcação deve alterar o rumo. Como a movimentação da embarcação está sujeita a desvios de aceleração, ângulos de leme e correntes, com movimentos descontínuos provocados pelo *time-step*, não possuindo a maioria delas sistemas de pilotagem automática, o conceito apresentado deverá ser ajustado às necessidades do simulador.
- Equação de movimento. A posição futura de cada embarcação ou mergulhador depende da velocidade atual, correntes, erros de aceleração e de ângulo do leme e rumo necessário para o destino. Para facilitar o processo de movimentação, será usado um eixo x,y normalizado em vez de coordenadas de latitude-longitude, evitando assim a deformação dos eixos:

$$\Delta s = (v + e_v)\Delta t \quad (6.4)$$

$$\Delta c = v_c \Delta t \quad (6.5)$$

$$\Delta x = \Delta s * \cos(r + e_r) + \Delta c * \cos(r_c) \quad (6.6)$$

$$\Delta y = \Delta s * \sin(r + e_r) + \Delta c * \sin(r_c) \quad (6.7)$$

em que Δt é o ts em horas, v a velocidade da embarcação ou mergulhador, dependendo da tipologia e atividade, e_v o erro da velocidade, Δs o espaço percorrido sem corrente, Δc o espaço percorrido por um corpo flutuante sujeito à corrente, v_c a velocidade da corrente no local e hora considerado, r o rumo da embarcação, e_r o erro no rumo, r_c o rumo da corrente, Δx e Δy as variações da posição segundo os eixos x e y respetivamente, de uma embarcação sujeita à ação da corrente. As correntes são fornecidas com informação da velocidade e do sentido para onde se deslocam, com ângulos entre 0 e 360°, no sentido horário, coincidindo o 0° com o norte verdadeiro. Os rumos calculados pelo simulador são dados em radianos, num círculo trigonométrico. A conversão é assim necessária antes de aplicar as equações de movimento. O posicionamento é obtido em número reais, havendo posteriormente necessidade de obter a quadrícula do mapa *raster* de probabilidades de deteção sobre a qual se encontra posicionado.

6.1.5 Métodos de interceção

Já utilizados no capítulo 3, foram desenvolvidos três métodos de interceção, designadamente direto (em cada instante, aproa ao centro do contacto, desenhando uma curva de cão¹⁴), futuro (ou curva de cão amortecida) aproa ligeiramente à proa do alvo) e cinemático (conhecidas as velocidades própria e do contacto e o rumo do contacto, rumo à posição de interceção, sendo necessário um sistema de pilotagem automático). Qualquer um dos três métodos é ilustrado na figura 64, onde se representam as posições iniciais da plataforma de segurança e do alvo, rumo e velocidade do alvo.

- Direto. Calcula o próximo rumo tendo como destino a posição atual do alvo, utilizando a velocidade máxima disponível; o rumo é calculado por (6.8), em que dx e dy são as diferenças nas coordenadas x e y das posições atuais da plataforma e do alvo.

¹⁴ Trajetória idêntica à percorrida por um cão em perseguição de uma presa.

$$rumo = \begin{cases} arctg\left(\frac{dy}{dx}\right) + resguardo, & \Delta x > 0 \\ 180 + arctg\left(\frac{dy}{dx}\right) + resguardo, & \Delta x \leq 0 \end{cases} \quad (6.8)$$

Computacionalmente pouco exigente e muito usado na prática, requer um grande dispêndio temporal durante a fase de aproximação. Para o exemplo da figura 64A, são necessários 12 instantes de tempo para se conseguir uma interceção; é a opção usada para aproximação.

- Futuro (curva de cão amortecida). Utiliza a velocidade máxima disponível e calcula o próximo rumo tendo como destino a posição do alvo no instante seguinte. Implica o conhecimento do rumo e velocidade do alvo; o rumo é calculado por (6.8), colocando o resguardo a zero; computacionalmente pouco exigente, este método requer sensores embarcados com capacidade de fornecer rumo e velocidade do alvo.
- Cinemático. Foi desenvolvida especificamente para este trabalho a função “cinemático”, onde é resolvido um problema de interceção de alvo em movimento em duas dimensões. Dadas as posições iniciais do alvo e do bote de segurança, o rumo e velocidade do alvo e a velocidade do bote, ficam por obter a posição de interceção, o rumo do bote e o tempo necessário para a interceção. Na figura 64C encontram representados **Pi_b**, posição inicial do bote, **Pi_a**, posição inicial do alvo, **Pf**, posição de interceção entre o bote e o alvo (desconhecida). Entre **Pi_b** e **Pi_a** encontra-se o segmento de reta a representar a direção de aproximação relativa entre o bote e o alvo. A distância percorrida pelo bote até ao ponto de interceção é dada por um vector de comprimento $V_b * t$, sendo V_b a velocidade máxima do bote e t a demora na interceção (desconhecida). Observando-se a igualdade:

$$(V_b t)^2 = DX^2 + DY^2 \quad (6.9)$$

em que dx e dy são as distâncias entre as posições iniciais segundo os eixos x e y , respetivamente:

$$DX = dx + V_a t \cos \alpha \quad (6.10)$$

$$DY = dy + V_a t \sin \alpha \quad (6.11)$$

Desenvolvendo após substituir (6.10) e (6.11) em (6.9), pondo t em evidência:

$$t^2(V_a^2 - V_b^2) + 2tV_a(dx \cos \alpha + dy \sin \alpha) + dx^2 + dy^2 = 0 \quad (6.12)$$

Caso as velocidades do bote e alvo sejam diferentes, resolve-se a equação quadrática em ordem a t , seleccionando o menor tempo positivo. A posição de interceção, em coordenadas x e y , é dada por:

$$Pf_x = tV_a \cos \alpha + Pi_{a_x} \quad (6.13)$$

$$Pf_y = tV_a \sin \alpha + Pi_{a_y} \quad (6.14)$$

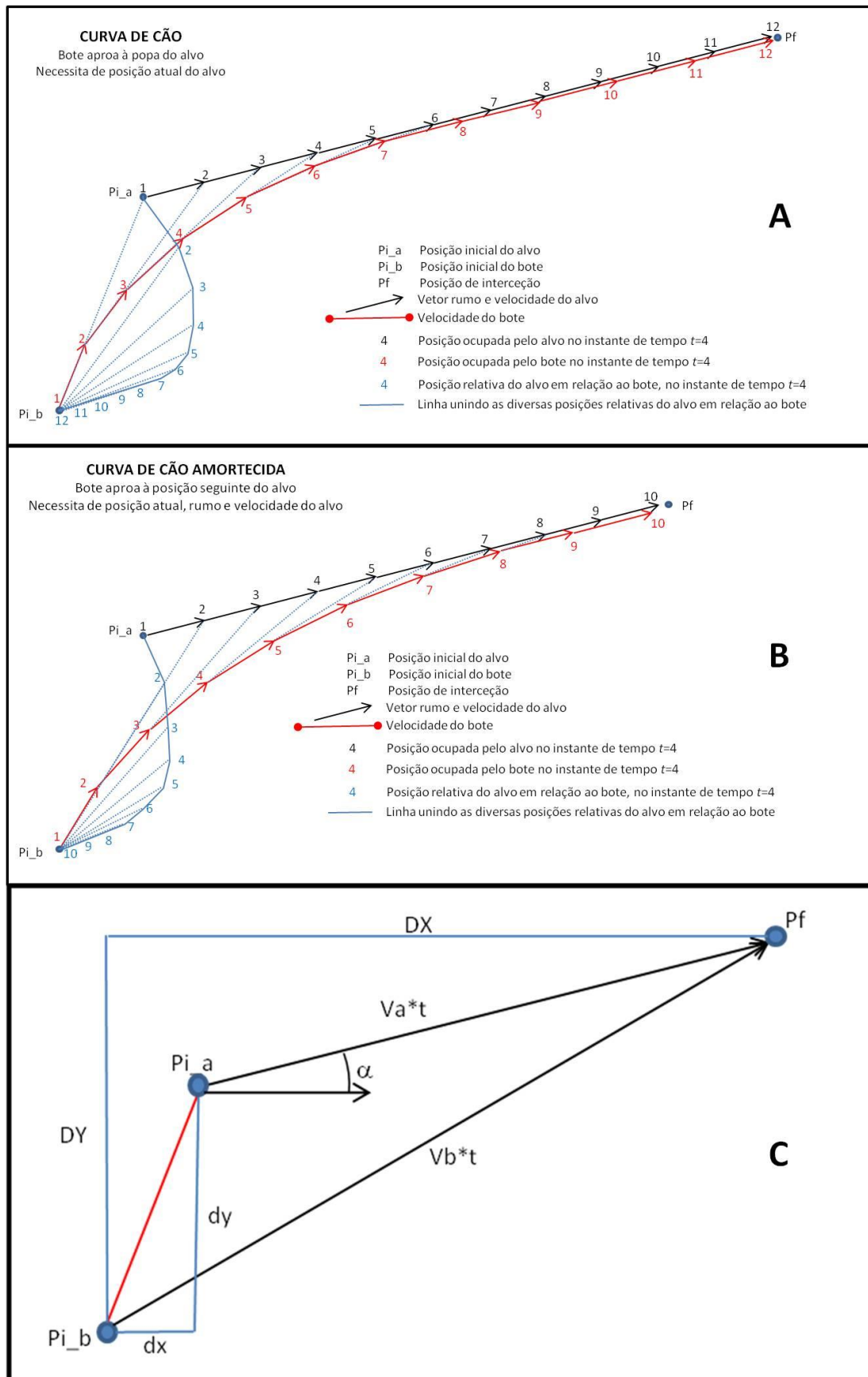


Figura 64 Métodos de interseção de alvo em movimento
A: direto demora 12ts; B: futuro demora 10ts; C: cinemático consegue a interseção em 7ts.

Caso as velocidades sejam idênticas:

$$t = \frac{dx^2 + dy^2}{(2V_a(dx \cos \alpha + dy \sin \alpha))} \quad (6.15)$$

Sendo a posição final calculada por (6.13) e (6.14). Caso não seja encontrado um t positivo ou:

$$2tV_a(dx \cos \alpha + dy \sin \alpha) < 0 \quad (6.16)$$

significa que o bote não consegue intercepar o alvo, pelo que seguirá uma aproximação direta. Resumindo, a função “cinemático” recebe como parâmetros de entrada as posições do alvo e do bote, a velocidade máxima disponível do bote e o rumo e velocidade do alvo, fornecendo a demora, rumo do bote e a posição de interceção. Os rumos são calculados instante a instante, já que é possível existir a fuga do alvo, com alteração de rumo e velocidade.

6.1.6 Modelação do dispositivo de segurança

Seleção e localização de sensores. O otimizador de seleção e localização de sensores, desenvolvido no capítulo 4, fornece:

- Rede de sensores por tipo (radar, sonar, ótico);
- Localização dos sensores;
- Mapas *raster* com probabilidades de deteção acumuladas por tipo de sensor, condição meteorológica e altura da maré. O número de mapas *raster* produzidos é assim função da discretização das alturas de maré e temperaturas. Caso se considerem outras variáveis para a CPDA, o número de mapas começa a ser incomportável, podendo vir a ser equacionado o uso do método de interrogação para o cálculo das probabilidades de deteção e reconhecimento. Por esse motivo e para efeitos de desenvolvimento do protótipo do otimizador de sensores, será considerada apenas uma altura de maré e uma CPDA por sensor.

Áreas (figura 1)

Área crítica. Utilizando uma ferramenta para criação de áreas definidas por vértices, sobre a informação geográfica existente, desenhar áreas críticas em torno dos alvos terroristas imóveis. Estes alvos podem ser navios fundeados ou atracados, infraestruturas portuárias ou locais passíveis de serem atingidos a partir das margens ou linha costeira. São áreas dentro das quais um terrorista armado ou munido de explosivos pode provocar danos no alvo, pelo que tem de ser tido em conta o alcance do armamento ou o raio destrutivo dos explosivos. O sistema de segurança tem como missão evitar a presença de terroristas no interior da área. O sistema não prevê áreas críticas móveis, apesar de poderem vir a ser contempladas no futuro.

Área de classificação. O utilizador insere o raio da área de classificação desejado. O sistema deve desenhar um polígono em torno da área crítica com o raio introduzido. A área de classificação será o resultado da interseção entre o polígono referido anteriormente e o polígono da linha de zero hidrográfico ou da linha de costa (altura média do mar). Caso da interseção resultem polígonos interrompidos, terá de ser verificada a sua inclusão como área de classificação. A distância a percorrer por uma embarcação, a partir do centro de cada polígono, tendo como destino a área crítica, deverá ser inferior ou igual ao raio da área de classificação. Caso seja superior, esse polígono não será considerado. Esta facilidade não se encontra ainda implementada.

Área de patrulha. As áreas de patrulha são desenhadas a partir do raio da área de classificação, dum valor entre 0.5 e 1 introduzido pelo operador e do número de botes em patrulha permanente associados a cada área crítica. O desenho da área de patrulha total segue o mesmo processo que o desenho da área de classificação, só que o raio é agora o resultado do produto do raio desta última pelo valor introduzido pelo operador. A divisão da área de patrulha pelo número de botes deve ser efetuada de forma equitativa, de modo que a área de patrulha, em jj^2 , seja idêntica para todos os botes. Caso a área de patrulha seja particionada, cada bote não pode ser atribuído a mais de uma área. Situações complexas devem ser estudadas em pormenor, podendo vir a ser necessário colocar à disposição do utilizador a capacidade de atribuir individualmente as áreas de patrulha a cada bote. O atribuir-se uma área por embarcação permite evitar a existência de largas áreas sem qualquer meio móvel.

Área de deteção. Utilizando o mesmo método que para a área de classificação, é utilizado o raio de classificação multiplicado por 1,1. Esta área é usada exclusivamente para a otimização de sensores.

Processo de classificação de um evento. A rede de sensores contempla radares, sonares e sistemas óticos. Qualquer objeto no mundo real (contacto) pode provocar um evento (caso adquirido pela rede de sensores), que passa pelos seguintes processos até ser classificado:

Deteção: é reconhecida a existência de algo, desconhecendo-se a sua posição; os sensores que detetam são normalmente passivos, não dispendo de sistemas que permitam a sua localização. Caso a deteção seja feita a curta distância, os sensores óticos podem efetuar em simultâneo a identificação, ou seja, identificam o alvo; caso seja um objeto, passa a ter a designação de DESC (evento desconhecido);

Localização: é obtida a posição de algo. Estando a ser usados sensores ativos, estes efetuam a localização em simultâneo com a deteção, caso dos radares e sonares. A localização é ainda possível ser efetuada por sensores óticos dispendo de sistemas próprios para o efeito ou por redes de sensores acústicos passivos. Estamos ainda em presença de um evento DESC;

Identificação: implica reconhecimento através de imagens ou comportamentos gravados. No caso de a identificação ser feita pelo olho humano (com ou sem sistemas eletro-óticos de apoio), o operador recorre à memória visual. No caso de a identificação ser efetuada por sistemas automatizados, a memória podem ser imagens ou comportamentos (sistemas de tratamento digital da informação, associados a radares e sonares); o evento deixará de ser DESC e passará a ter uma das seguintes identificações:

- NCON: Vida animal ou objeto (aves, peixes, mamíferos, boias, detritos a meia água ou à superfície);
- NCON: Vida humana embarcada ou nas margens;
- NCON: Ruído ambiente (as bolhas de ar provocadas por esteiras de navios provocam contactos consistentes e prolongados);
- NCON: Falsos contactos originados pelos sensores
- NTER: Navio ou embarcação que não são passíveis de uso por agentes terroristas;
- POSSTER (de possível terrorista): Embarcação que é passível de ser usada por agentes terroristas ou contacto submarino consistente, apresentando rumo e velocidade diferentes das correntes submarinas locais.

No caso de contactos sonar, este processo de identificação pode ser muito lento, quando na presença de excessivo ruído ambiente.

Classificação: associado às intenções dos eventos POSSTER; pode ser obtida de duas formas:

- Através da observação de comportamentos que indicam um claro desrespeito das normas em vigor no porto ou não seja condizentes com a atividade esperada. Entre estes comportamentos está o uso de velocidades superiores ao autorizado dirigindo-se para uma área crítica, não obediência às ordens de paragem ou de interdição de área, observados a manipular armamento ou explosivos não autorizados pelas autoridades locais; qualquer um destes comportamentos origina a classificação de PROBTER.
- Através da vistoria presencial da embarcação e ocupantes ou investigação de evento submarino. Desta ação de vistoria resultam as seguintes possíveis classificações:
 - NTER; mantém-se enquanto o evento não atraque ou fundeie, seja abordado ou aborde outra embarcação. Nestes casos voltará a ter a classificação de POSSTER;
 - PROBTER; existem fortes indícios de que os ocupantes da embarcação estão conotados com organizações terroristas ou detêm armamento ou explosivos não autorizados pelas autoridades locais; o contacto submarino corresponde a um mergulhador que não está em prática de pesca ou desportiva ou que, estando, não esteja autorizado para tal.

Resumo. Cada evento pode ter as seguintes classificações:

- DESC. Atribuído quando surge indicação sensorial da presença de algo estranho;
- NCON. Atribuído quando se identifica o corpo estranho como sendo sem interesse;
- NTER. Atribuído quando se classifica o evento como navio ou embarcação não associados a agentes terroristas;
- POSSTER. Atribuído quando estamos presentes a uma embarcação que pode ser usada para fins terroristas ou a um evento submarino persistente e com movimento em desacordo com as correntes locais;
- PROBTER. Atribuído quando os comportamentos são suspeitos, a vistoria presencial indica fortes indícios de envolvimento com prática terrorista ou na posse de armamento ou explosivos não autorizados.

Tipologia das embarcações e sistemas propulsores. Utilizando um interface para introdução manual de dados, recolher descrição do tipo de embarcação; velocidade máxima disponível; velocidade de cruzeiro na patrulha; velocidade de cruzeiro utilizando sonares; duração do dia de trabalho.

Utilizando um interface para introdução manual de dados, recolher consumo de combustível à velocidades máxima, de cruzeiro para patrulha, de cruzeiro com sonar.

Modelos computacionais para atividades dos agentes de segurança. O sistema é iniciado com as embarcações de segurança no centro das áreas de patrulha atribuídas. Não se encontra atribuído nenhum evento para classificação. As embarcações de segurança podem estar em 4 estados, seguindo o processo ilustrado na figura 65, designadamente:

Patrulha. Mantêm-se no interior das suas áreas de patrulha, a uma velocidade de cruzeiro (variável conforme dispõem ou não de sonar), utilizando rumos que lhes permitam pesquisar toda a área (busca aleatória, já que os rumos seguidos não estão pré-determinados). Devem ser evitadas guinadas bruscas para não provocar ruído ambiental nem desequilibrar os ocupantes, que se encontram em missão de pesquisa visual. Opcionalmente, podem ser atribuídas patrulhas em 8, barreira ou fiadas, usando rumos pré-determinados e como tal passíveis de serem previstos. No entanto, como o objetivo da busca é a deteção de mergulhadores, a busca aleatória é sempre

preferencial, já que para embarcações de superfície a deteção e localização está a cargo da rede de sensores fixa.

Interceção. É atribuído um evento para investigar no interior da área de classificação, quer seja para obter uma identificação ou atribuir classificação, por vistoria (embarcações) ou uso de efector submarino (mergulhador). A velocidade usada pode ser a máxima ou a de cruzeiro. Os métodos de interceção foram apresentados anteriormente. Caso o evento saia da área de classificação pode ou não continuar a perseguição.

Vistoria ou busca. Com uma demora dependendo do comportamento da tripulação da embarcação ou do mergulhador, efetua a classificação. Caso seja classificado como PROBTER, aguarda 10 minutos simulando a chegada de uma embarcação de detenção.

Regresso. Finda a classificação ou a detenção, regressa pelo caminho mais rápido à área de patrulha, utilizando a velocidade que empregou na interceção.

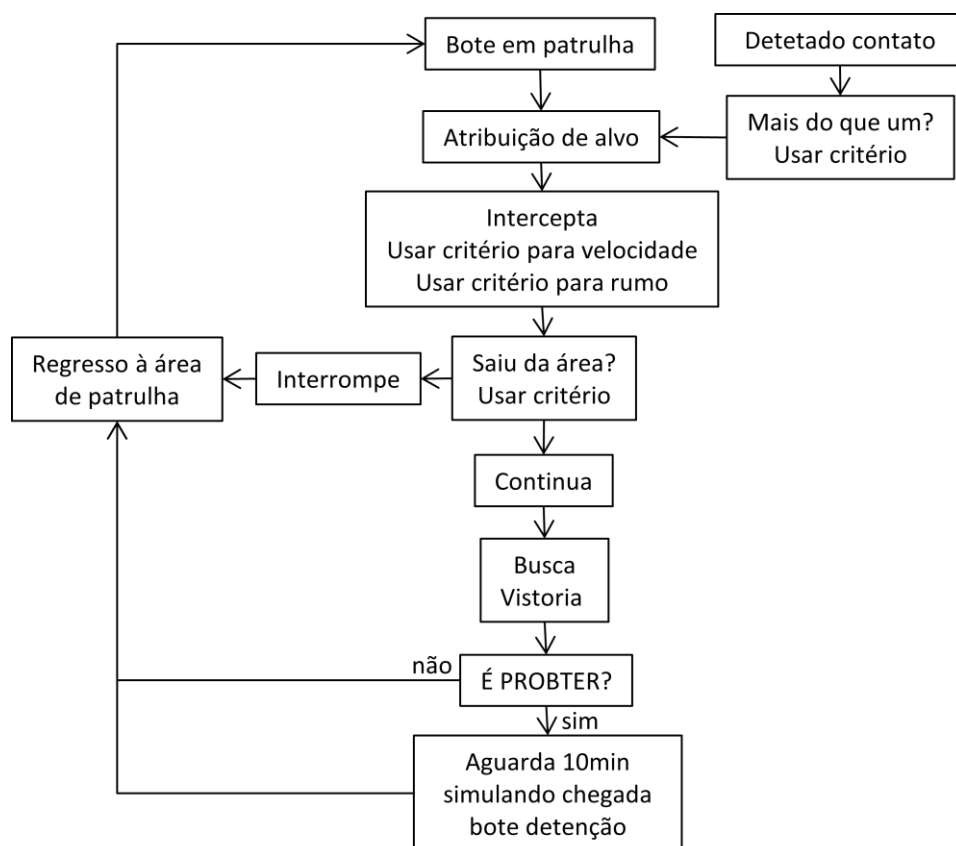


Figura 65. Processo associado às embarcações de defesa e atribuição de alvos

Regras de atribuição de tarefas às plataformas móveis. O simulador incorpora as regras definidas no capítulo 3.

6.1.7 Interação de agentes locais com o dispositivo de segurança

A modelação conceptual das interações não decorre de nenhum modelo do mundo real, por não haver registos históricos que o sustentem. Utilizou-se o conhecimento de interações entre a navegação local e agentes da autoridade e o resultado de exercícios de defesa com forças especiais envolvendo embarcações furtivas. Estes exercícios não contemplam no entanto a presença de forças terroristas nem o seu carácter possivelmente suicida. São conceitos muito próprios do signatário,

passíveis de crítica e melhoramento, esperando-se que nunca se reúnam dados históricos para a sua alteração. Assumem-se os seguintes comportamentos da navegação local em presença do dispositivo de segurança:

- Mantêm a atividade normal, enquanto não forem abordados por embarcações de segurança;
- Quando avisados para respeitar uma zona de interdição, cumprem as instruções recebidas;
- Quando observam uma embarcação de segurança em aproximação, adotam um dos seguintes comportamentos:
 - Ficam a pairar, aguardando a aproximação;
 - Continuam a navegação;
 - Tentam evadir-se da embarcação, rumando à área de origem. Caso a embarcação de segurança se afaste, retomam a atividade.
- Quando abordados, adotam um dos seguintes comportamentos:
 - Em caso de passagem de instruções, demoram 30 segundos a dar o recebido;
 - Em caso de abordagem:
 - Não simpatizando com a missão de segurança ou simpatizando com os ideais terroristas, manifestam dificuldades de linguagem, não apresentam documentação e atrasam a vistoria, demorando em média 10 minutos, com desvio padrão de 2 minutos.
 - Simpatizando com a missão de segurança ou antipatizando com os ideais terroristas, facilitam a apresentação de documentos e o acesso ao interior da embarcação, demorando a vistoria em média 5 minutos, com desvio padrão de 1 minuto.

6.1.8 Interação com agentes terroristas de superfície

Tipo e quantidade. Na tipologia de embarcações locais, o utilizador definiu aquelas que podem ser usadas por agentes terroristas; nos parâmetros de simulação, o utilizador definiu a percentagem de terroristas presentes no cenário. Sempre que uma embarcação local passível de ser usada por agentes terroristas for gerada, o lançamento de número pseudo-aleatório com distribuição uniforme ditará o seu comportamento como terrorista. Para as restantes embarcações (de grande ou médio porte), não será lançado qualquer número pseudo-aleatório, comportando-se sempre como agentes locais neutros. Existe uma exceção à regra de geração que está relacionada com um dos perfis de ataque, o qual se detalhará oportunamente.

Atribuição de alvos aos terroristas em embarcações. Caso uma embarcação seja definida como terrorista, o alvo será selecionado aleatoriamente entre as diversas áreas críticas. Caso exista apenas uma área crítica, todos os terroristas terão o mesmo alvo. Não é contemplada a alteração de alvo a meio da vida do terrorista, ou seja, não existem alvos de oportunidade.

Perfis de aproximação e ataque de embarcações. Nesta fase, já se conhece o tipo de embarcação, a atividade rotineira e o alvo associado a cada agente terrorista. Um dos perfis de ataque levará no entanto à geração de uma embarcação terrorista não associada com nenhuma atividade. O utilizador define qual ou quais dos seguintes perfis de ataque são passíveis de serem usados:

- Tipo 1, direto. A partir da área de nascimento, a embarcação dirige-se diretamente para o alvo, obedecendo às regras de navegação (velocidade de cruzeiro, contornando obstáculos);
- Tipo 2, simulando trânsito local. Surge no cenário tendo como destino uma área final local, velocidade de cruzeiro. Em cada instante mede a distância ao alvo. Quando verificar que a

distância ao alvo vai começar a aumentar, assume um trajeto direto para este, mantendo a velocidade;

- Tipo 3, simulando atividade local. Surge no cenário tendo como destino uma área de atividade. Ao fim de uma hora de atividade, com velocidade de trabalho, assume um trajeto direto para o alvo, com velocidade de cruzeiro;
- Tipo 4, dissimulado com navegação de grande porte em entrada ou saída do porto. Sempre que for gerado um navio de grande porte, é lançado um número pseudo-aleatório de distribuição uniforme e comparado com a razão:

$$\frac{P_t}{(100 * P_a)} \quad (6.17)$$

em que P_t é a percentagem de terroristas e P_a o nº de perfis de aproximação selecionados pelo utilizador. Caso seja de criar o perfil, é gerado um contacto com um tipo de embarcação passível de ser usado por terroristas, copiando rumos e velocidades do navio de grande porte, ocupando uma posição adjacente a este, não sendo detetado pelos sensores ativos. O alvo é selecionado aleatoriamente de entre os existentes no cenário. Em cada instante mede a distância ao alvo. Quando verificar que a distância ao alvo vai começar a aumentar, assume um trajeto direto para este, mantendo a velocidade.

Comportamentos. Caso abordada, a vistoria de uma embarcação terrorista demora em média 10 minutos, com desvio padrão de 2 minutos. Para qualquer um dos perfis de ataque, o utilizador pode seleccionar o comportamento esperado de uma embarcação terrorista quando detetar uma patrulha de segurança em aproximação:

- Assume um rumo destino à área de entrada no cenário, passando à velocidade máxima; aborta o ataque. Para todos os efeitos a embarcação já está conotada com atividade suspeita, com classificação PROBTER, pelo que manter-se na área, mesmo que a patrulha abandone a perseguição, não é considerado;
- Mantém rumo e velocidade.

6.1.9 Modelação de mergulhadores terroristas

Local de partida. Para definição dos locais de partida dos mergulhadores em missão de ataque terrorista, existem as seguintes opções:

- Exigir que o utilizador desenhe áreas de projecção de mergulhadores sobre a linha de costa, utilizando a facilidade de edição de polígonos georreferenciados; corre-se o risco de serem áreas muito longe das áreas críticas, em que a autonomia e velocidade declaradas permitem que o mergulhador alcance o alvo. Por outro lado, pode impedir uma correta saturação do dispositivo de segurança, ou seja, vindo as ameaças sempre do mesmo azimuth não se testa corretamente o dispositivo contra ataques omnidirecionais. Retira realismo, já que na realidade os mergulhadores podem ser lançados de embarcação.
- Considerar que os mergulhadores são originados exclusivamente a partir de embarcação, já gerada anteriormente. Não se controlando devidamente o local nem a quantidade, corre-se ainda o risco da embarcação ser intercetada antes do mergulho, perdendo-se assim a capacidade de testar devidamente o dispositivo de segurança. Retira realismo, já que os mergulhadores podem iniciar o mergulho a partir de terra.

- Considerar como linha de partida quer pontos em terra quer pontos no mar, com uma distância máxima d_1 e uma distância mínima d_2 da área crítica alvo, em que:

$$d_1 = \text{autonomia} * \text{velocidade_de_trânsito (nm)} \quad (6.18)$$

$$d_2 = \text{alcance_visual_máximo_diurno (nm)} \quad (6.19)$$

De modo a conseguir testar de forma omnidirecional o dispositivo de segurança, os pontos são gerados com 15º de intervalo, a partir de um ponto centrado na área crítica. A falta de realismo advém de se ignorar a necessidade de criar uma embarcação para transportar o mergulhador para os locais de origem no mar. Esta opção encontra-se representada na figura 66.

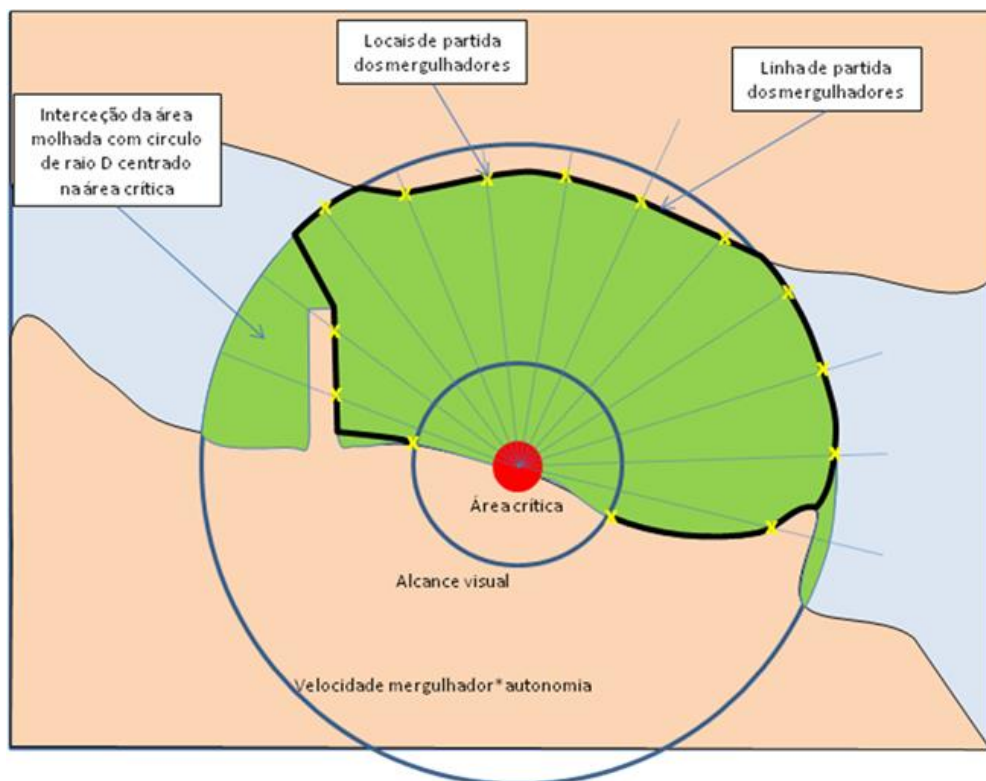


Figura 66. Definição dos locais de partida de mergulhadores

O resumo das opções para seleção dos locais de partida de mergulhadores é visível no quadro 43.

Quadro 43. Resumo das opções para seleção dos locais de partida de mergulhadores

Descrição	Vantagens	Desvantagens
Opção 1: Utilizador define áreas de partida	Desnecessário calcular áreas de partida; fácil implementação.	Maior carga sobre o utilizador; pode ficar impossibilitado o teste completo do dispositivo de defesa; pode resultar em ataques nulos pelo facto das áreas serem muito distantes dos alvos; não contempla a partida a partir de embarcações.
Opção 2: Usadas embarcações já geradas	Desnecessário calcular áreas de partida; fácil implementação.	Pode ficar impossibilitado o teste completo do dispositivo de defesa; não contempla a partida a partir de terra.
Opção 3: Cálculo dos pontos de partida	Permite o teste completo do sistema de segurança; permite partidas quer de terra quer do mar.	Grande dificuldade de implementação; em termos de visualização, o utilizador pode ficar desconfortável por ver surgirem mergulhadores em locais onde não existe qualquer embarcação de apoio.

Apesar da dificuldade de implementação, foi selecionada a opção 3, a única que garante avaliar o desempenho do dispositivo de segurança.

Trajectoria do mergulhador. Para terroristas em mergulho, a aproximação será iniciada em terra ou no mar, a menos de d_1 nm do alvo, em períodos onde a corrente de maré seja inferior a 1nó, esquema representado na figura 67. A trajetória é efetuada junto à superfície (profundidade média de 2jj, definida pelo utilizador), de modo a que o esclarecimento do panorama seja efetuado com a mínima demora (emersão). Emerge a distâncias padrão de 600jj (intervalo definido pelo utilizador), permitindo a deteção visual por patrulhas marítimas móveis, desde que posicionadas a menos de uma distância padrão de 100jj (distância definida pelo utilizador) do local de emersão e por radares. O tempo de exposição padrão será de 30 segundos (definido pelo utilizador), pelo que a probabilidade de deteção por sensores óticos ou infravermelhos é desprezível. O terrorista não reage à presença do sonar ou radar fixo e caso sinta uma embarcação em modo de busca (distância inferior a 100jj), utiliza a velocidade máxima para fuga em direção ao alvo. Sofrendo o efeito de equipamentos anti-mergulhador sobe à superfície.

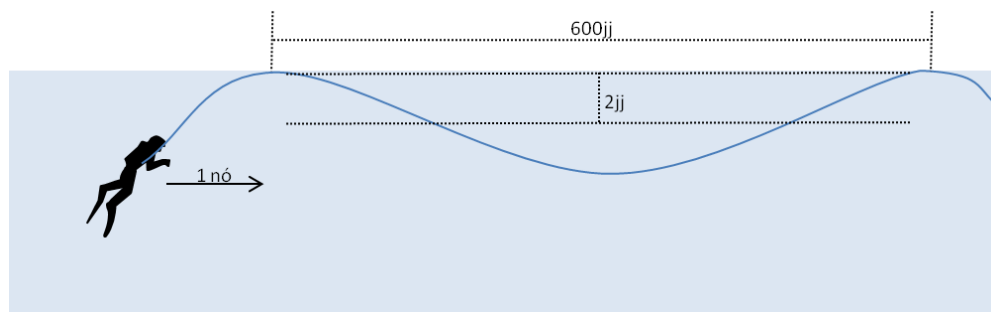


Figura 67. Esquema de movimentação de mergulhador

Interação sensor acústico ativo fixo – mergulhador. A deteção do sonar ativo fixo, pode ser originada por:

- Contacto falso (não existe objeto no local), induzidos pelo próprio sensor ou originados em alvos afastados, com grande refletividade, incluindo estruturas portuárias, margens ou cascos.
- Contacto verdadeiro (existe objeto no local), originado por mergulhador, detritos de origem humana a meia água (comuns em locais com populações ribeirinhas ou movimentação de embarcações), detritos de origem não humana a meia água (comuns em desembocaduras de rios), esteira de navios (as bolhas de ar originadas pelos hélices e pelo atrito dos cascos refletem a onda acústica), vida animal (aves aquáticas, peixes, mamíferos aquáticos).

Em cada *time step* é utilizada a curva de probabilidade de deteção acumulada para obtenção da deteção inicial. Para efeitos de manutenção de contacto, após a deteção inicial, é usado o valor de alcance máximo. São equipamentos fixos durante a operação, com frequências entre 85 a 100 KHz, cobrindo 360°, alcances máximos de 600jj. Em situações práticas, os alcances são da ordem das 200 jardas. Este alcance é extremamente degradado em condições de tráfego intenso, onde a esteira interfere com a onda acústica. Os atuais sensores estão dotados de algoritmos de tratamento de dados que permitem aumentar a confiança da deteção, distinguindo alvos em movimento contínuo de alvos estacionários e alvos erráticos. Considera-se uma média horária de 2 contactos verdadeiros erradamente classificados como mergulhadores, sendo pedido ao utilizador que altere a média, caso existam dados recolhidos em exercícios locais.

Interação radar – mergulhador. A detecção do radar fixo, com sintonia anti mergulhador, pode ser originada por:

- Contacto falso (não existe qualquer objeto no local), por reflexão em partículas de chuva, granizo ou outros; induzido pelo próprio sensor; originado em alvos afastados, com grande refletividade, muito comum em portos comerciais devido à presença de grandes estruturas metálicas (navios, contentores, gruas).
- Contacto verdadeiro (existe um objeto no local), originado em mergulhador (expõe a cabeça para orientação), detritos de origem humana à superfície (comuns em locais com populações ribeirinhas ou movimentação de embarcações), detritos de origem não humana (comuns em desembocaduras de rios), vaga originada pelo vento, esteira de navios, vida animal (aves, peixes, mamíferos aquáticos).

Em termos teóricos, é possível saber a potência recebida após a reflexão num contacto. No entanto, não existem equações que determinem a probabilidade de uma detecção de um mergulhador, já que cada combinação (*porto, condições atmosféricas, período temporal e sensor*) contém características únicas. Ao sintonizar um radar para evitar o surgimento de contactos verdadeiros sem interesse (detritos, aves, vagas) estamos a eliminar a detecção de mergulhadores. Caso se sintonize o radar para detetar mergulhadores, a quantidade de contactos sem interesse pode saturar por completo o dispositivo de segurança, obrigando as embarcações a investigarem centenas de contactos. A utilização de equações radar não é aconselhada, já que não permite obter a probabilidade de detecção mas apenas a potência recebida. Em cada *time-step* é utilizada a probabilidade de detecção instantânea, já que o tempo de permanência do alvo não permite a utilização da curva de probabilidade de detecção acumulada. Não existindo quadros ou funções de probabilidade de detecção instantânea, assume-se uma probabilidade de detecção de 0.1 até ao alcance máximo do radar, para um alvo com altura média de 20cm e área refletora esférica com 20cm de raio.

Ao utilizador é pedido o alcance máximo do radar fixo, usando como padrão 1000jj. O alcance é extremamente degradado em condições de precipitação ou vento forte. Ao utilizador é ainda solicitada a média horária de verdadeiros falsos (contactos verdadeiros que não são originados em mergulhadores) específica do porto e altura do ano. Como valor padrão, assume-se uma média de 5.

Interação embarcação de patrulha – mergulhador. Seguindo o esquema da figura 68, a interação entre embarcação de patrulha e mergulhador pode ser iniciada por qualquer um dos sensores disponíveis a bordo, inclusive os humanos. Para além da detecção, a interação contempla ainda a fase de armamento usado, aproximação e estado da embarcação.

Sensor visual. Considera-se que cada embarcação dispõe de sensor visual (capacidade inata da guarnição) e sonar ativo anti mergulhador. Para a operação deste equipamento, são necessárias velocidades reduzidas, evitando assim as interferências com a esteira própria. Visualmente, as detecções a curta distância contra alvos sem aviso prévio ocorrem num setor de 90º centrado na proa, por ser o setor mais privilegiado em termos de segurança da navegação. Os alcances esperados, utilizando curvas de probabilidade de detecção acumulada, podem ser obtidos no manual IAMSAR [51] (200jj para pequenas unidades de busca e salvamento). No entanto, utilizando os mergulhadores vestuário de cor com pouco ou nenhum contraste e estando visíveis durante um curto espaço de tempo, os valores de referência usados são 100jj (diurno) e 20jj (noturno). Estes valores são fortemente degradados em condições de má visibilidade (vento, precipitação, nevoeiro).

Apesar de poderem surgir objetos à superfície da água, como detritos ou vida marinha, considera-se que os observadores são experientes e têm capacidade de classificação positiva.

Sonar embarcado. Tem uma cobertura horizontal de 60º e alcances muito reduzidos, da ordem das 40jj. É colocado numa plataforma por fora da borda da embarcação, sendo alimentado por baterias. Devido à elevada frequência de transmissão do equipamento, é possível distinguir o formato do objeto, sendo a identificação efetuada por operador experiente. Não se considera assim plausível a existência de contactos verdadeiros com classificação errada.

Armamento. Nas operações de segurança, são usados diversos equipamentos que operados a partir da superfície obrigam à emersão do mergulhador. Canhões de ar, explosivos ou anzóis evitam a utilização de mergulhadores das forças de segurança. Os canhões de ar, desenvolvidos e testados pelo NURC (NATO Undersea Research Center, recentemente alterado para CMRE, Center for Maritime Research and Experimentation, sediado em La Spezia, Itália), permitem um alcance eficaz superior aos anzóis sem ter os perigos dos explosivos.

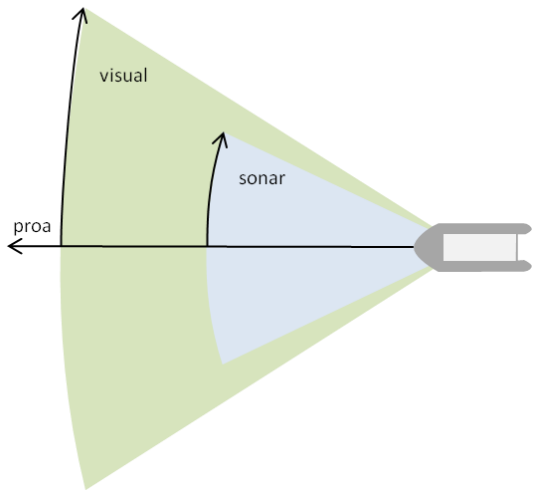


Figura 68. Esquema de bote com cobertura sonar e visual

Patrulha. Baseado nas táticas de luta anti-submarina, a busca de uma área é feita à velocidade que permita a maior eficácia do sensor fundamental, neste caso o sonar. Esta velocidade varia de sensor para sensor e de plataforma para plataforma, sendo o seu valor indicado pelo utilizador.

Quadro de estados. Após cada evento do tipo deteção, a ação da embarcação em patrulha depende do evento e da sua situação atual, sendo os estados apresentados no quadro 44.

Quadro 44. Estados da embarcação de patrulha

Evento	Estado atual e ação
Não alerta	E1: Patrulha área atribuída ou regresso à área
	E2: Interceção de alvo de superfície
	E3: Vistoria de alvo de superfície
	E4: investigação de alvo submarino
Alerta por radar fixo, atribuição de datum	E1: dirige-se para datum à velocidade máxima. Ao chegar ao datum estabelece velocidade ótima sonar e efetua busca rumo à área crítica, durante período definido pelo utilizador.
	E2, E3, E4: mantém atividade anterior
Alerta por sonar fixo, atribuição de posição atual	E1, E2: dirige-se para posição à velocidade máxima. Ao chegar, estabelece velocidade ótima sonar e efetua busca rumo à área crítica, durante período definido pelo utilizador.
	E3, E4: mantém atividade anterior
Alerta visual ou sonar bote	E1, E2, E3, E4: obriga mergulhador a emergir, utilizando meios disponíveis, demora definida pelo utilizador.

No quadro de estados, assumiram-se alguns pressupostos que normalmente poderiam ficar ao critério do utilizador, pedindo-lhe que atribuisse prioridades às ameaças submarina e de superfície. Face à elevada probabilidade de um alerta por radar ser considerado falso, não se considera dever ser interrompida uma ação de classificação de superfície. Já o avistamento de um mergulhador pelo bote interrompe qualquer atividade que possa estar em curso.

6.1.10 Comparação da problemática de terrorista embarcado versus mergulhador

No capítulo 3 foram estudadas regras relativamente ao processamento de contactos de superfície por embarcações tripuladas e não tripuladas. Ao considerar-se a existência de mergulhadores terroristas, há o problema acrescido da confiança relativamente ao sensor que origina o evento. A quantidade de variáveis associadas à presença de mergulhadores aumenta ainda a complexidade da proteção portuária, conforme visível na figura 69 e quadro 45.

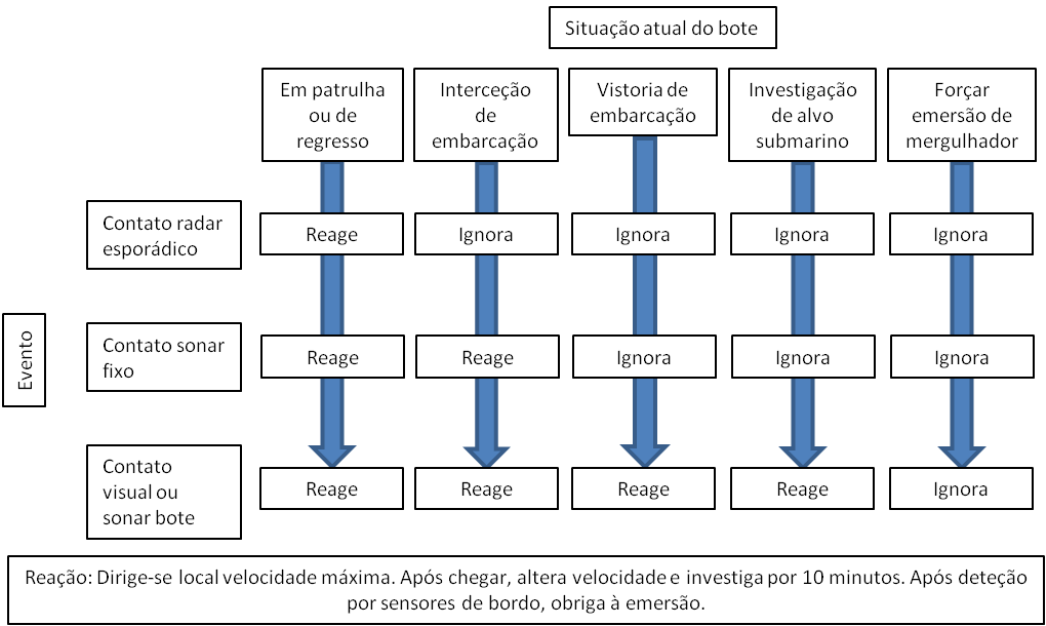


Figura 69. Estados da embarcação de patrulha, função da situação atual e evento

Quadro 45. Parâmetros e variáveis associadas a mergulhadores

Parâmetros e variáveis aleatórias	Variáveis adversariais	Variáveis de decisão
Alcance visual a partir de terra Alcance visual a partir de bote Ângulo de visão a partir de bote Alcance do sonar fixo Alcance do sonar de bote Ângulo de visão do sonar de bote Velocidade ótima sonar	Geração de terroristas Posições de partida de terroristas Velocidade de natação em trânsito e evasão Autonomia e profundidade média do mergulho Duração da exposição para orientação Distância entre exposições Demora na investigação de contacto Demora na emersão de mergulhador Falsos positivos radar e/ou sonar	Prioridade na investigação Quantidade de botes Dimensão da área de patrulha Dimensão da área de classificação Seleção e Localização de sensores

O quadro 46 assinala as diferenças entre a problemática de segurança contra terroristas em mergulho e contra terroristas embarcados.

Quadro 46. Quadro comparativo entre ameaças por meio de infiltração

	Embarcado	Mergulho
Análise de eixos de ameaça	Os terroristas embarcados apenas usam locais e embarcações locais. Pode não se conseguir analisar o risco associado a ameaças originadas 360º em redor da área crítica;	Os locais de partida estão uniformemente distribuídos em torno das áreas críticas.
Análise de comportamentos de terroristas	Os terroristas embarcados dispõem de diversos comportamentos para infiltração.	Os mergulhadores percorrem o caminho direto.
Dificuldade de deteção	Deteção é feita antecipadamente	Não há deteção antecipada
Importância do ambiente	Salvo condições atmosféricas muito adversas, a deteção pelo sensor primário não é afetada (exceção a aguaceiros ou granizo)	O ambiente interfere fortemente na capacidade de deteção, devido principalmente aos falsos contactos.
Dificuldade de classificação	Necessita de vistoria	Assume-se que qualquer mergulhador positivamente detetado é suspeito de terrorismo
Sensor móvel	Não tem influência	Único com capacidade de identificação e classificação

6.2 CARREGAMENTO E EDIÇÃO

Permite o carregamento e edição de variáveis bem como produz informação necessária para o simulador, otimizador de sensores e experimentador. O conjunto de ferramentas desenvolvidas, interfaces com o utilizador e variáveis recolhidas encontra-se descrito em apêndice A contemplando:

- Edição de informação geográfica;
- Interface do simulador;
- Carregamento de sensores, que serão usados no otimizador de cobertura do capítulo 4 e no simulador;
- Carregamento de tipologia de embarcações;
- Localização manual de sensores, que serão usados no otimizador de cobertura do capítulo 4 e no simulador;
- Desenho de áreas. São testadas diversas heurísticas de desenho de áreas individuais por embarcação;
- Edição de áreas e definição de processos de vida e morte;
- Carregamento de comportamentos, que decorrem da experimentação com os simuladores do capítulo 3;
- Consumo de combustível das embarcações de segurança, para cálculo do custo;
- Caracterização do panorama submarino.

6.3 SIMULAÇÃO: GERADOR

O simulador contempla três módulos distintos, os quais são ativados em separado, porque na fase de exploração de resultados será necessário correr diversas simulações para cada conjunto de contactos iniciais. Estes contactos passarão a eventos na fase de movimentação, caso detetados.

- Gerador de contactos: a partir dos dados fornecidos pelo utilizador, inicializa todos os contactos que serão usados na simulação;
- Motor: movimenta os contactos de acordo com as regras criadas, representa e regista-os;
- Visualizador: fornece relatórios para apoio ao desenvolvimento do simulador e para o decisor tático e operacional.

O simulador requer dados provenientes de outros módulos externos, designadamente a criação e edição de dados (obrigatório), o otimizador de sensores (opcional, já que o utilizador pode definir manualmente a rede de sensores) e o calculador de custos (opcional).

6.3.1 Implementação do gerador de contactos de superfície

A partir dos dados do cenário, define momentos de nascimento, atividades e momentos de morte de contactos. Como dados requeridos: a percentagem de terroristas; o *time-step*; a duração da operação; limites geográficos das áreas de nascimento, trabalho e morte; densidade de nascimentos por área, com indicação de destinos; comportamento selecionado para terroristas; tipologia de embarcações e suas características e obstáculos à navegação, por calado. O resultado final é um *data_mart* (matriz **ponto**, tabela em que cada linha corresponde a um evento e em que cada coluna corresponde a um atributo desse evento), descrito em pormenor no apêndice A. Na figura 70 é representado o interface do *SecurePort*, sendo assinalado o local de carregamento de dados essenciais para o gerador de contactos superfície.

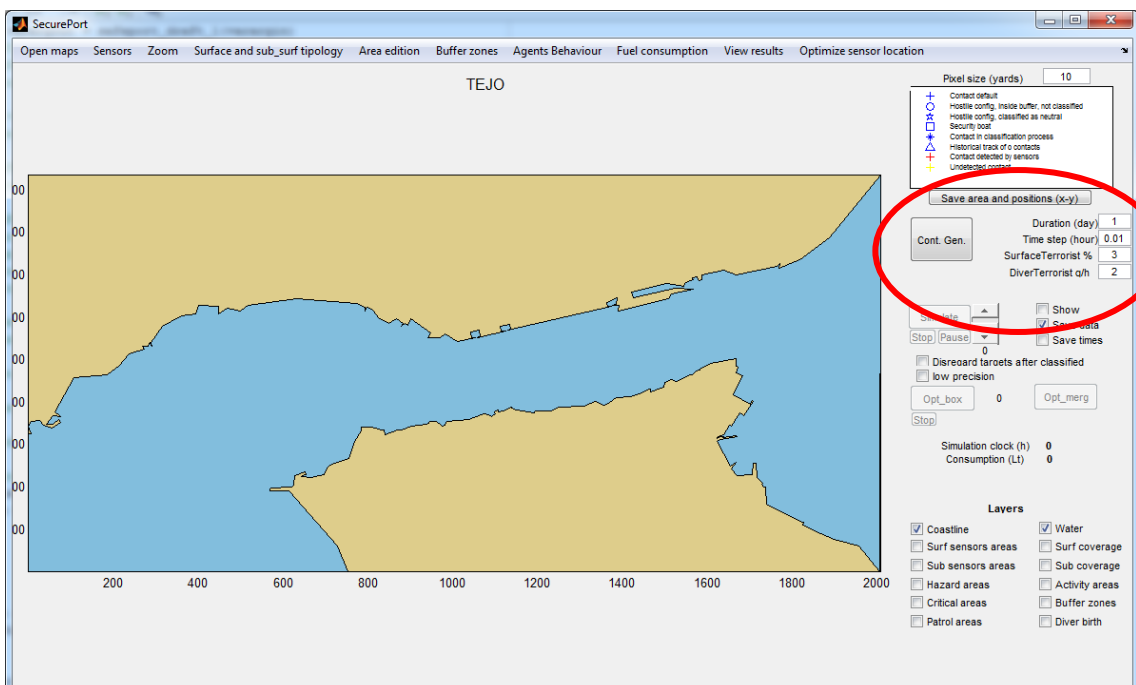


Figura 70. Opções associadas ao gerador de contactos

Processo de geração

- Local de origem e tipologia. Por área de nascimento a , ler linha a linha as áreas de destino d , para uma tipologia t , sejam elas de atividade at ou morte m ;
- Local de destino, local de trabalho e momento de nascimento. Por hora h obter número pseudo-aleatório n de distribuição normal, desvio padrão 1 e média indicada na densidade de nascimentos (apenas serão aceites valores superiores ou iguais a zero). Temos assim n contactos do tipo t que durante a hora h largarão da área a com destino à área at ou m , para trânsito (caso de área m) ou prática de atividade (caso de área at). O instante preciso da largada, dentro da hora de saída, é obtido com recurso a número pseudo-aleatório de distribuição uniforme, em unidade *time_step*;

- Associação a atividade terrorista. Caso o contacto seja uma pequena embarcação, é considerado terrorista recorrendo à percentagem definida pelo utilizador usando uma distribuição uniforme; caso o contacto seja do tipo mercante, pode originar um contacto terrorista, seguindo na sua sombra, até que a distância ao centro da área crítica alvo comece a diminuir;
- Rumo inicial. Para obtenção do rumo inicial recorre-se a uma função “*próximo_curso*” desenvolvida para o efeito, a qual será posteriormente usada pelo motor de simulação. Como parâmetros de entrada necessita de: posição de nascimento do contacto; destino do contacto, polígono da margem desenhado no sentido anti-horário; polígonos de obstáculos no interior do espelho líquido, desenhados no sentido horário. Como parâmetro de saída, fornece o rumo de saída da área inicial.

Cálculo do próximo curso. Algoritmo usado para definição do rumo inicial na geração de contactos e rumo instantâneo, durante a simulação. Como parâmetros de entrada necessita de: posição de nascimento do contacto; destino do contacto; polígono da margem desenhado no sentido anti-horário; polígonos de obstáculos no interior do espelho líquido, desenhados no sentido horário. Como parâmetro de saída, fornece o rumo de saída da área inicial. Ao contrário de outros algoritmos, mencionados anteriormente no capítulo 1, o destino do contacto ou alvo, pode estar em movimento sem previsão de rumos e velocidades futuros. Por esse motivo, o algoritmo de navegação preocupa-se apenas com o próximo obstáculo em cada instante, repetindo todos os cálculos no instante seguinte, para o obstáculo que entretanto surgir.

Arranque. Verifica se o rumo direto, entre a posição atual e o destino, intersesta algum dos obstáculos, fornecidos pelos polígonos das margens e outros traçados pelo utilizador. Caso interseste, guarda a posição de interseção e calcula a distância à posição atual do contacto. Utiliza uma função “*procurar_caminho*” para cálculo do rumo que permita contornar apenas o obstáculo mais próximo. Caso não interseste, calcula o rumo inicial utilizando o arco da tangente:

$$\text{Se } \Delta x > 0, \text{ rumo} = \arctg(\Delta y / \Delta x); \quad (6.20)$$

$$\text{Se } \Delta x \leq 0, \text{ rumo} = 180 + \arctg(\Delta y / \Delta x); \quad (6.21)$$

onde Δx e Δy são as variações em x e y entre a posição de destino e a posição atual, e *rumo* é dado em graus. A função termina fornecendo como rumo inicial o valor de *rumo*.

Procurar caminho. Com base na figura 71, a função “*procurar caminho*” recebe a posição inicial, a posição final, o polígono do obstáculo 1 e o segmento de reta deste obstáculo sobre o qual se situa o ponto de interseção nº1 (entre v13 e v1). O algoritmo ignora qualquer outro obstáculo, para além daquele que provocou a interseção, procurando um vértice que possibilite o traçado de um segmento de reta até ao destino, não intercetando o obstáculo fornecido (no caso do exemplo, o obstáculo 1). A busca do caminho é agora iniciada pesquisando os vértices do obstáculo 1, no sentido ascendente e descendente, a partir dos extremos do segmento de reta que contém o ponto de interseção 1, ou seja, os vértices 1 e 13. Seguindo o fluxo da figura 72, o algoritmo termina quando se verificam em simultâneo:

- Um dos sentidos encontra um vértice livre, sendo *ds* a distância entre o ponto inicial-vértices pesquisados-destino;
- O outro sentido ainda não encontrou um vértice livre e a distância entre ponto inicial-vértices pesquisados é superior a *ds* (de notar que a distância entre o último vértice e o destino não é contabilizado).

Novamente se reitera que o obstáculo 2 não está a ser considerado. Apenas em instantes seguintes, caso o obstáculo 1 deixe de constituir uma obstrução é que os vértices do obstáculo 2 passarão a ser considerados. Não se pretende traçar aqui todo o caminho futuro mas apenas o rumo a assumir no instante.

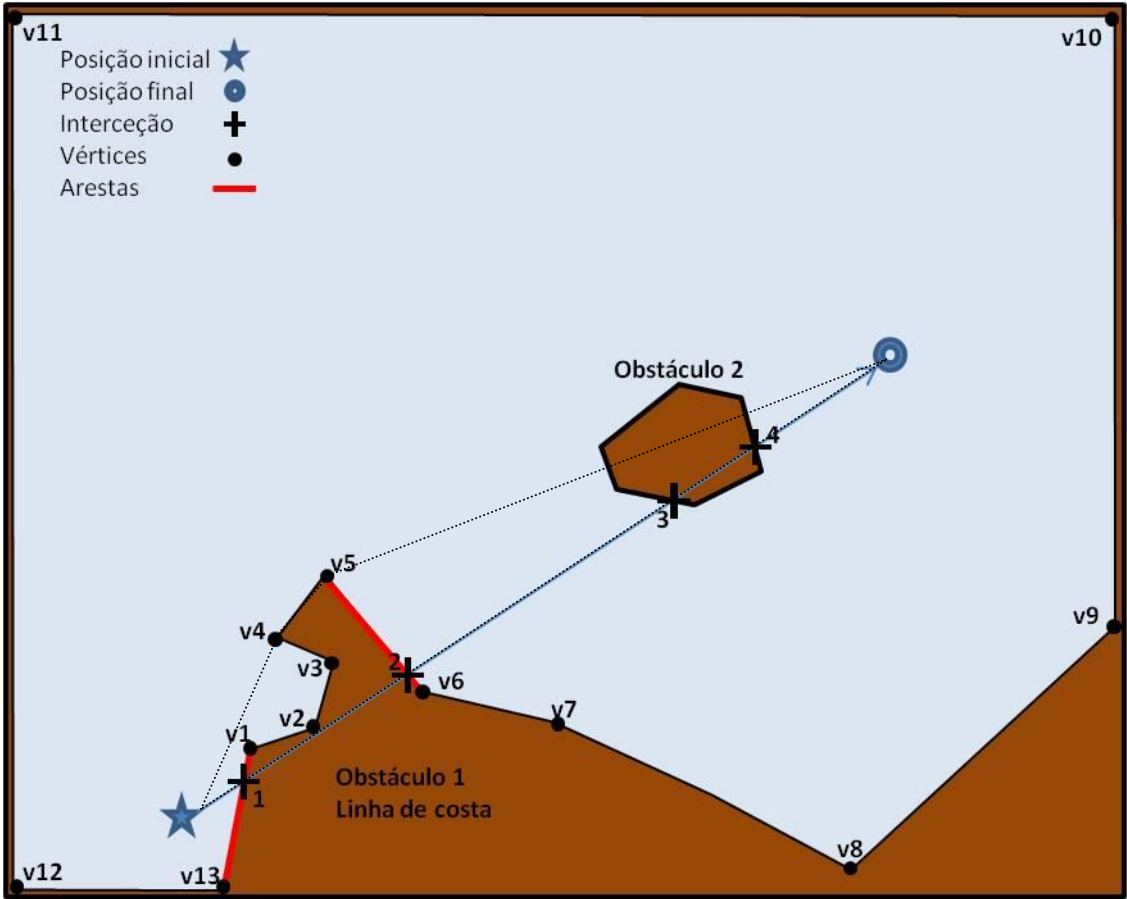


Figura 71. Algoritmo para contorno de obstáculos
Procura de ponto intermédio, a partir do qual se consiga governar rumo ao destino final, ignorando outros obstáculos

No quadro 47 representam-se os passos dados pelo algoritmo da figura 72, exemplificado na figura 71.

Quadro 47. Análise de vértices dos obstáculos apresentados ao rumo direto

Ascendente			Descendente		
Vértices do caminho	Destino visível (ignorando outros obstáculos)?	Distância percorrida	Vértices do caminho	Destino visível (ignorando outros obstáculos)?	Distância percorrida
v13	não	1,4	v1	não	1,7
v13,v12	não	5,0	v1,v2	não	2,8
v13,v12,v11	sim	37	v1,v2,v3	não	3,9
			v1,v2,v3,v4	não	6,4
			v1,v2,v3,v4,v5	sim	19

Pela observação do quadro 47 verifica-se que o caminho ascendente chegou primeiro a uma solução admissível. No entanto, o algoritmo continuou porque a distância percorrida entre vértices na busca descendente era inferior à distância total da busca ascendente. O algoritmo finalmente para quando ambas as buscas conseguem um caminho livre. Terminado o algoritmo, verifica-se que a busca descendente consegue um caminho mais curto, passando pelos vértices v1, v2, v3, v4, v5. No

entanto, é visível que a envolvente convexa permitiria eliminar a necessidade de visitar os vértices v_1 , v_2 , e v_3 . Para se obter o caminho mais curto utilizando apenas estes vértices, é desenhado um polígono convexo usando apenas os vértices externos. O resultado deste polígono é visível a tracejado na figura 71. Obtém-se assim que o ponto intermédio para o qual a embarcação se deve dirigir é o vértice v_4 . O desvio do rumo direto, para evitar a colisão com o obstáculo, deve ser para bombordo (superior ao rumo direto, por se estar a usar um sistema de contagem de ângulos anti-horário). O obstáculo 2 apenas será considerado quando a embarcação atingir o vértice v_5 , repetindo-se o processo.

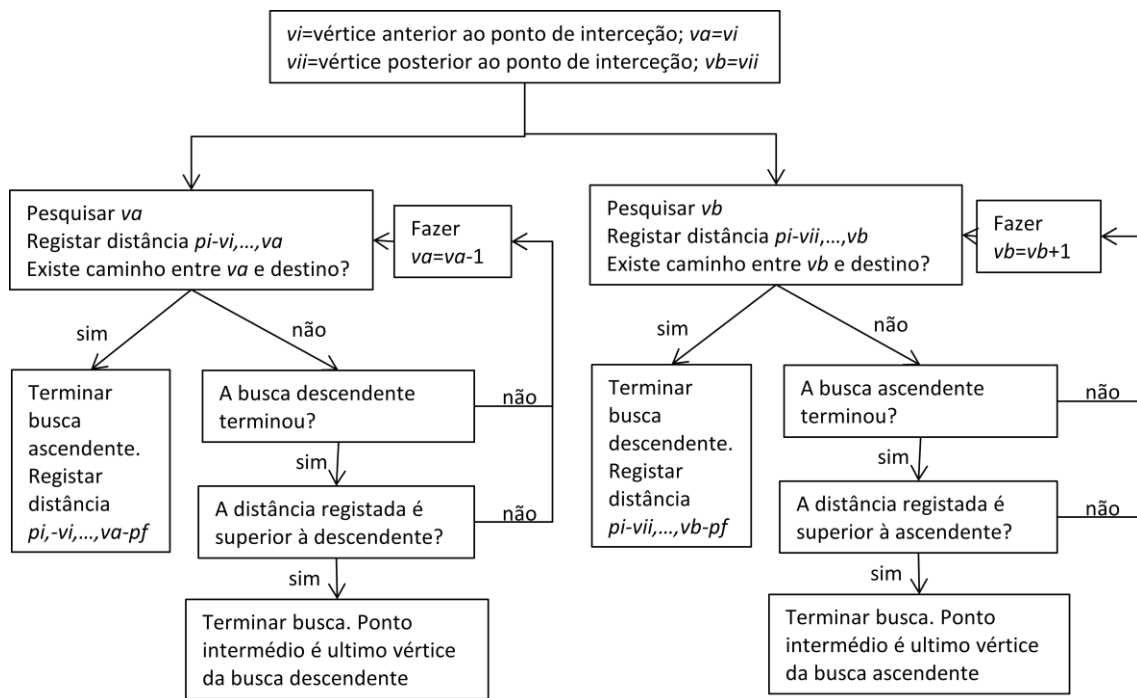


Figura 72. Fluxograma da busca pelo vértice que possibilita caminho livre.

Posição inicial: pi , destino: pf . As distâncias registadas nos passos intermédios contemplam percorrer todos os vértices já pesquisados na respetiva busca mas não incluem o destino.

Iteração final de “próximo curso”. Utilizando a posição intermédia e o resguardo:

$$\text{Se } \Delta x > 0, \text{ rumo} = \arctg(\Delta y / \Delta x) + \text{resguardo} * 10; \quad (6.22)$$

$$\text{Se } \Delta x \leq 0, \text{ rumo} = 180 + \arctg(\Delta y / \Delta x) + \text{resguardo} * 10; \quad (6.23)$$

Onde Δx e Δy são as variações em x e y entre a posição de destino e a posição intermédia, $\text{resguardo} \in \{-1, 1\}$, cujo valor varia conforme o obstáculo está traçado no sentido horário ou anti-horário, permitindo que os pontos de costa sejam ultrapassados sem os tocar, à semelhança do sucedido no mundo real. Na realidade, as embarcações contornam os obstáculos sem os tocar, ou seja, não existem tangentes, já que estas obrigariam a colisões. As embarcações navegam assim entre pontos intermédios, até ao instante em que nenhum se cruza entre elas e o seu destino.

Considerações. Não se calcula o percurso completo da embarcação entre a posição inicial e o destino devido à dinâmica envolvida. Em cada ts , a embarcação sofre desvios devido a erros de rumo, variações de velocidade e possível corrente local. Por outro lado, o alvo pode encontrar-se em movimento, contínuo ou não, podendo inclusive vir a tornar-se visível não sendo necessário

contornar nenhum obstáculo. Face a estes desvios, optou-se por calcular novo rumo em cada ts , o qual servirá para atualizar a posição da embarcação no final do *time-step* atual. Esta opção tomada encarece temporalmente a simulação, devido à lentidão da função “polyxpoly” quando em presença de polígonos de grande dimensão mas permite uma melhor simulação da realidade, onde a navegação reage quase instantaneamente a alterações do destino.

6.3.2 Implementação do gerador de contactos submarinos

A geração de contactos submarinos distingue-se da anterior por não haver à partida uma definição por parte do utilizador das áreas de nascimento, trabalho e morte dos contactos. O processo seguinte diz respeito a uma área crítica, sendo repetido para todas as existentes.

Obtenção dos locais de partida

Linha de partida. Seguindo o modelo e variáveis apresentadas no capítulo 2, bem como na figura 66, a implementação dos locais de partida necessita dos seguintes dados fornecidos pelo utilizador: vt =velocidade de trânsito do mergulhador, em nós; at =autonomia à velocidade de trânsito, em horas; sr =separação radial dos pontos de partida, em graus. Os restantes dados, como a geografia do terreno e o limite da área crítica são idênticos aos necessários para a navegação de superfície. A definição da linha de partida segue dois passos:

- Desenho de um polígono exterior à área crítica em $vt*at$ nm;
- Obtenção de polígono contendo a área de interseção entre o perímetro anterior e a área molhada do porto. Seja esse polígono designado por linha de partida.

Locais de partida. Calculado o centro geométrico da área crítica, são obtidos $int(360/sr)$ vectores aí originados e separados radialmente sr graus entre si, com um comprimento de $2*vt*at$ milhas náuticas. São obtidos os pontos de interseção entre cada vector originado no centro da área crítica e a linha de partida. Devido ao recorte das margens, com possíveis estruturas ou massas de terra entre a área crítica e a linha de partida, sobre cada vector podem surgir vários pontos de interseção. No entanto, só nos interessa o mais próximo. Utilizando um ciclo, calcula-se a distância entre todos os pontos de interseção e o centro da área crítica, aproveitando-se apenas aquele ao qual corresponde a menor distância, obtendo-se assim $int(360/sr)$ possíveis pontos de partida. Usando este método, elimina-se a possibilidade de existirem pontos de partida que não são visíveis a partir da área crítica.

Pontos de partida a distâncias inferiores ao alcance visual a partir de terra devem ser agora eliminados, por não terem interesse. Para esta eliminação não é usada a distância ao centro da área crítica, já que as patrulhas terrestres podem estar localizadas em qualquer local dentro da área. Para cada ponto de partida existente, são obtidos pontos de interseção entre o polígono da área crítica e um segmento de reta unindo o ponto de partida com o centro da área crítica. Caso a distância entre o ponto de partida e o ponto de interseção mais próximo seja inferior ao alcance visual a partir de terra, esse ponto de partida é eliminado. O ponto de interseção mais próximo será guardado, servindo como destino dos mergulhadores originados no respetivo ponto de partida. A aplicação deste processo, no estuário do Sado é visível na figura 73, onde os pontos de partida estão representados por um asterisco vermelho.



Figura 73. Pontos de partida de mergulhadores

Processo de geração

Dados iniciais. Posições de partida por área crítica e posições de destino, média horária de geração de mergulhadores, definida pelo utilizador, intervalo entre emergências e duração das emergências.

Instante de nascimento. Para cada área crítica, por hora h obter número pseudo-aleatório n de distribuição normal, desvio padrão 1 e média indicada na média horária da geração de mergulhadores (apenas serão aceites valores superiores ou iguais a zero), obtendo-se o número exato de mergulhadores gerados por hora. Para cada mergulhador, o lançamento de número pseudo-aleatório de distribuição uniforme permite obter o instante exato de lançamento.

Posição de partida. Estando definido o conjunto de locais de partida, a seleção é feita utilizando um número pseudo-aleatório de distribuição uniforme.

Rumo de partida. Assumindo que a partida é feita à superfície, o rumo inicial é obtido de forma semelhante à usada para as embarcações de superfície.

Estado de deteção: é iniciado a zero, quer para sensores de superfície quer para sensores submarinos.

Contador de tempo de imersão: é iniciado a zero.

O resultado final é um *data_mart* (quadro de eventos, exclusivamente numérica, com quadros descritivas associadas em estrela), designado por **merg**, com os atributos definidos em apêndice.

6.3.3 Implementação do gerador de contactos falsos

Os contactos falsos são inerentes ao uso de sensores, podendo ter várias origens.

Dados iniciais. Localização e cobertura dos sensores, taxa de falsos contactos horários por sensor.

Instante de nascimento. Por hora e sensor, usando distribuição uniforme.

Local de nascimento. Por falso contacto e sensor, usar a curva de distribuição da probabilidade de deteção para obter a distância. Usando distribuição uniforme, calcular o azimuth. Caso o contacto não coincida com a área molhada, ignorar.

O resultado final é um *data_mart* (quadro de eventos, exclusivamente numérica, com quadros descritivas associadas em estrela), designado por **falso_contacto**, presente no apêndice A.

6.4 SIMULAÇÃO: MOTOR

Anima os contactos e eventos durante o período de simulação, em intervalos periódicos, registando os momentos e posições de relevo. No final de cada simulação, são obtidos ainda os custos e sucessos da operação. A figura 74 assinala os locais de seleção das principais opções do utilizador.

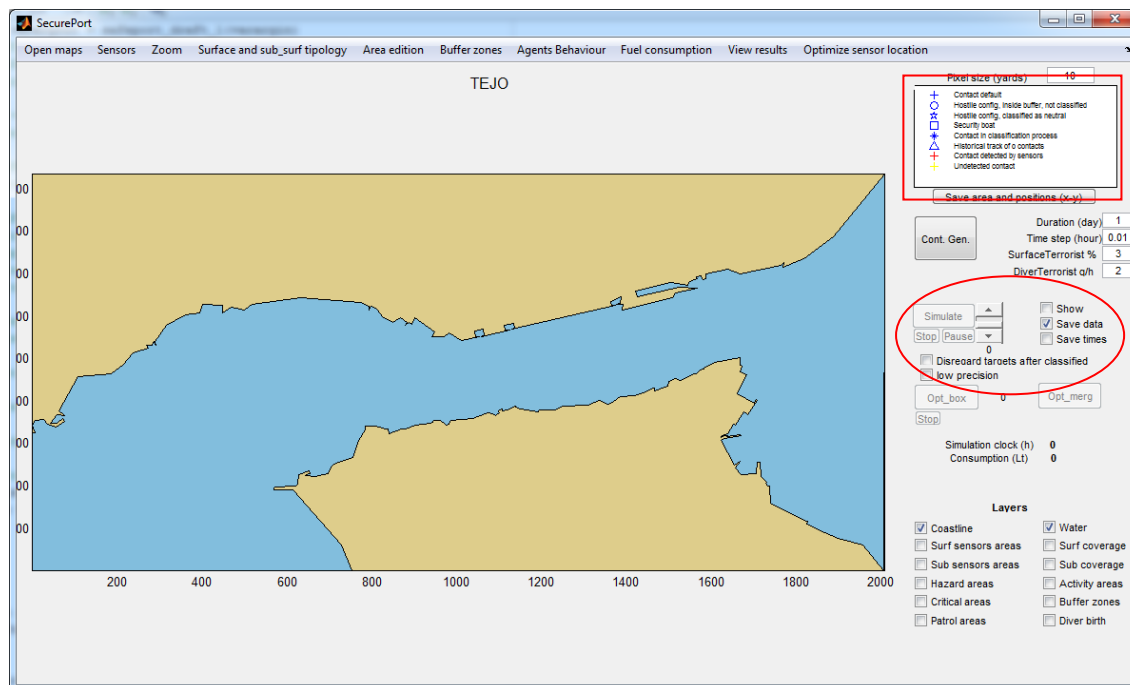


Figura 74. Opções do motor de simulação e simbologia empregue na visualização dos eventos

As variáveis duração, ts e percentagem de terroristas não podem ser alteradas, por terem sido usadas para gerar os contactos. Caso se pretenda analisar nova duração, ts ou percentagem de terroristas, terá de ser criado um novo conjunto de contactos.

6.4.1 Opções do motor

Visualização instantânea. Caso esteja ativa a opção de **show**, são mostradas as posições de todos os contactos e eventos, ts a ts , com símbolos diferenciados por tipo de embarcação e situação, cores diferenciadas por estado de deteção, estado de classificação, rumos e velocidades representados por vector originado no contacto; são ainda assinalados os percursos seguidos por embarcações terroristas, com cores diferenciadas por tipo de postura usado.

Guardar resultados. Caso esteja ativa a opção de **save data**, são guardados dados para produção de relatórios para o comando tático e operacional, tais como a densidade de contactos georreferenciada, o número de contactos ativos por ts , as rotas das embarcações terroristas com indicação do perfil assumido, os instantes de captura de terroristas, de início de fuga e de sucesso.

Guardar tempos. Caso esteja ativa a opção de **save times**, são guardados dados para visualizar despesas de tempo com as diversas etapas de simulação, designadamente movimentação de navegação neutra e terrorista, seleção de contactos para vistoria, atribuição de contactos a meios de segurança, movimentação de navegação de segurança, guardar resultados.

Poupança de tempos

Disregard contacts after classified. Caso seja selecionada esta opção, os contactos classificados como não terroristas deixam de ser movimentados, por não influenciarem o resultado final, poupando-se assim o tempo gasto na sua movimentação;

Low precision. Caso seja selecionada esta opção, os contactos apenas corrigem o rumo em cada dois ts, poupando-se tempo de computação mas comprometendo o mimetismo da realidade.

Dados requeridos

Definidos pelo utilizador: Escalares ts (unidade de tempo usada pelo simulador), duração da operação e grão usado na definição da quadrícula. Curvas de consumo horário dos botes de segurança. Tipologia dos contactos e das embarcações de segurança. Erro estocástico a aplicar ao rumo e velocidade de embarcações mergulhadores. Este erro é aplicado aos rumos e velocidades instantâneos, variando os seus desempenhos mesmo com o mesmo conjunto de contactos iniciais. Polígonos de batimetria e topografia, áreas críticas e obstáculos à livre navegação, área de nascimento, trabalho e morte das embarcações de superfície. Distâncias e setores de deteção dos sensores embarcados. Comportamentos dos agentes terroristas e neutros. Demora na investigação e vistoria de contactos, em minutos.

Calculados pelo gerador de contactos: Atributos dos contactos de superfície, mergulhadores e falsos contactos.

Fornecidos pelo otimizador de regras de empenhamento: Decisões táticas para empenhamento de embarcações de segurança (o uso de sensores móveis não tripulados não se encontra ainda implementado).

Fornecidos pelo otimizador de cobertura fixa: Mapas granulados da área navegável, de cobertura dos sensores de superfície (radares e EO) e submarinos. A cobertura dos sensores embarcados é calculada instante a instante. Curvas de probabilidade de deteção acumulada, localização e identificação dos sensores fixos.

Fornecidos pelo utilizador ou pelo otimizador de áreas de patrulha: Raio da área de patrulha e classificação, quantidade de botes, por área crítica.

Fornecido pelo desenhador de áreas individuais (capítulo 7): Polígonos individuais de áreas de patrulha.

6.4.2 Modelo do simulador (megaprocesso)

Instante a instante, para toda a duração da simulação, é seguido o megaprocesso da figura 75.

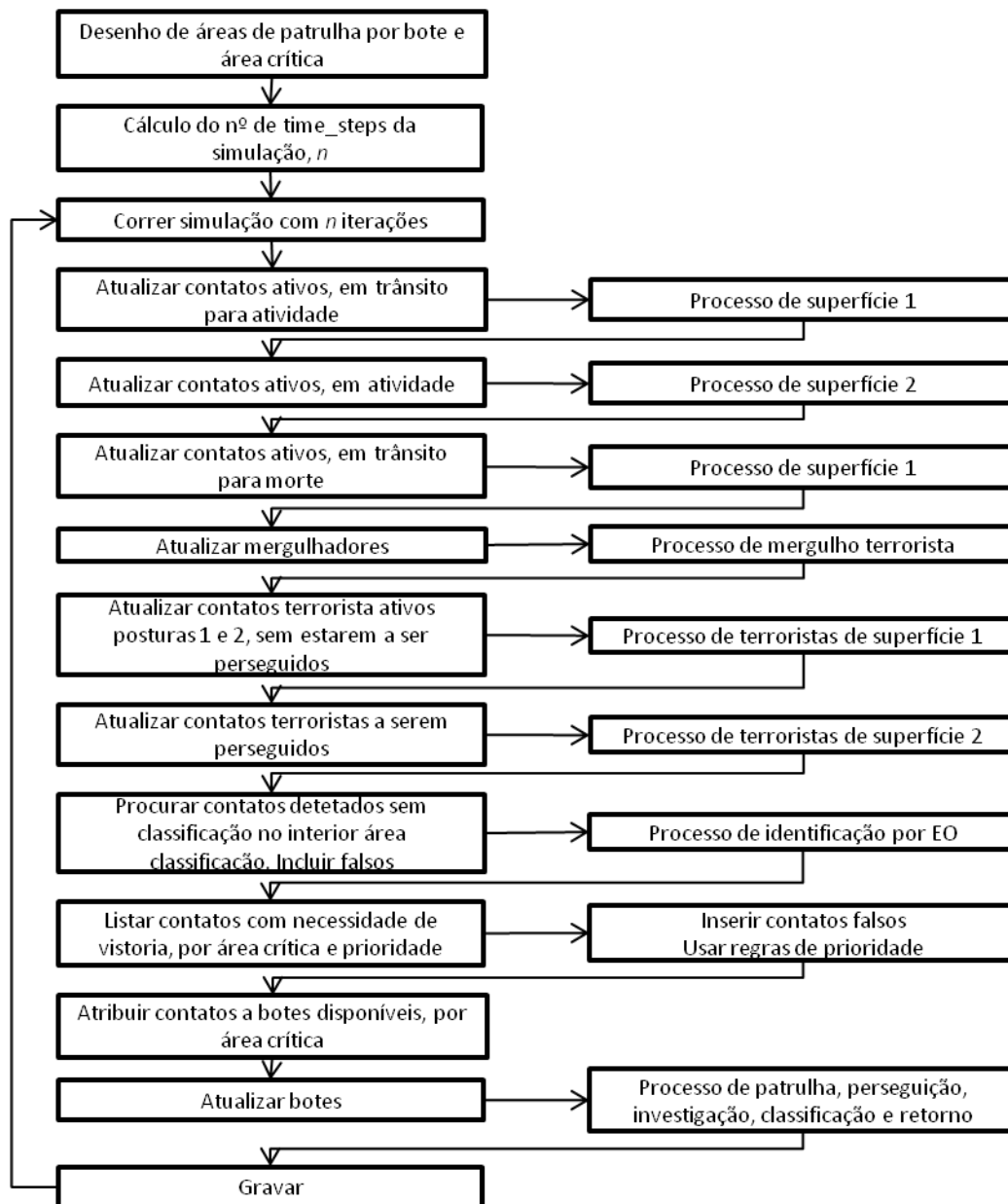


Figura 75. Fluxograma do motor de simulação

Inicialização das embarcações de segurança (botes). As embarcações de segurança são iniciadas no centro das áreas de patrulha, rumo inicial aleatório ou, caso atribuído um evento, rumo ao alvo. Previamente à contagem do tempo, é iniciado um *data mart*, para registo e controlo das embarcações, com as entidades e atributos presentes em apêndice A. São corridas todas as áreas críticas e dentro destas, todas as áreas de patrulha.

Visualização. Caso a opção de visualização (show) esteja ativada, são inicializados os símbolos decodificadores (figura 76), cuja forma, posição e cor serão alterados ao longo da simulação. A cor do símbolo "+" denota a deteção perante o sistema de segurança, ou seja, só quando detetado por este sistema é que um contacto pode ser investigado por embarcações de segurança, passando a designar-se por evento. A presença de um "o" serve apenas para o utilizador verificar a existência de

embarcações possivelmente danosas no interior da área de classificação, sendo o sistema de comando desconhecedor de tal característica. As próprias marcas deixadas pelos agentes terroristas não estão visíveis para o dispositivo de segurança. O vector de rumo e velocidade permite ainda verificar se a dinâmica dos contactos tem alguma semelhança com a realidade. O acerto entre velocidades em nós, latitudes em x e y e o grão só foi possível devido à existência deste vector.

Marcação do tempo. Convertendo a duração da simulação em horas e efetuando a divisão pelo t_s , obtém-se o número de iterações. Este número é usado num ciclo, marcando a passagem do tempo e permitindo a pausa ou paragem pelo utilizador. Em cada passagem do tempo, são procurados os contactos cujo nascimento coincide com o tempo atual. O estado é passado para ativo, sendo depois sujeitos às regras de movimentação e classificação. No estado inicial, o contacto é sempre não detetado.

Seleção dos contactos vivos. Em cada instante de tempo, são selecionados do quadro **ponto** (apêndice) todos os contactos cujo nascimento foi anterior ao instante atual e não tenham a indicação de estarem mortos. A quantidade de contactos vivos é registada em vector $1 \times n^\circ$ de iterações. São igualmente selecionados do quadro **merg** (apêndice) todos os mergulhadores ativos, utilizando os mesmos critérios que para os contactos de superfície. São ainda selecionados os falsos contactos.

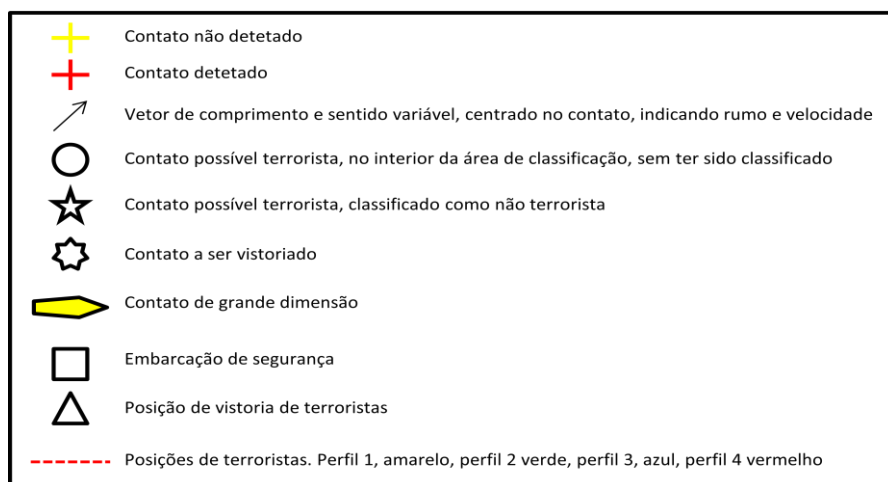


Figura 76. Legenda dos símbolos presentes na janela de visualização

6.4.3 Tratamento de agentes

Processos de superfície 1 e 2. Visíveis nas figuras 77 e 78, os contactos terroristas são aqui tratados por terem um comportamento idêntico à navegação local, apesar de sofrerem alterações de comportamento, tratadas posteriormente.

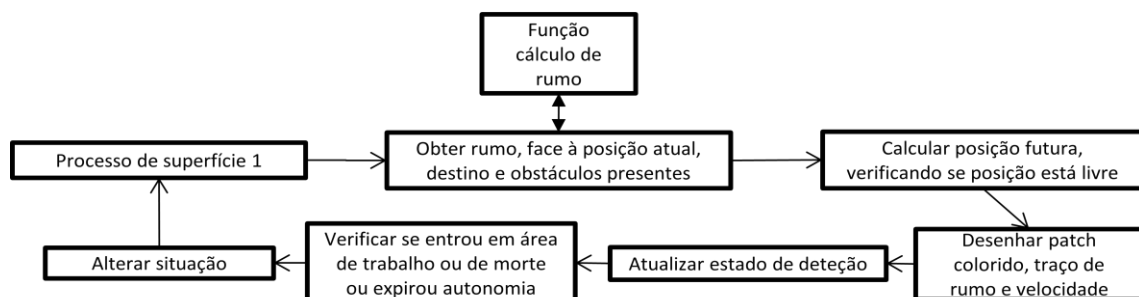


Figura 77. Processo de superfície 1, contactos em trânsito para trabalho ou morte

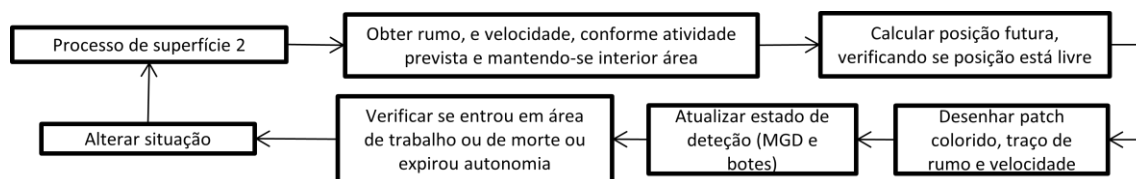


Figura 78. Processo de superfície 2, contactos em área de trabalho

- **Caso navegue para área de trabalho.** Condição inicial para toda a navegação neutra e terrorista), inclui terrorista tipo 3. Sujeitos às ações das correntes e a erros de pilotagem, dirigem-se para os locais de trabalho.

Passo 1, Reposicionamento contínuo. Recalcular o rumo para o destino atual, com recurso à função “proximo_curso”, já descrita na geração de contactos; arredondar a posição atual à dezena de jardas (com um grão de 10jj), obtendo x_a e y_a , inteiros; obter valor de corrente a partir de mapa *raster* de correntes da hora atual, consultando o valor descrito na matriz correspondente a partir dos índices x_a, y_a ; calcular a posição para o instante atual, usando a velocidade atual com erro, o rumo com erro e a corrente local; atualizar a posição atual e rumo.

Passo 2, Deteção. Arredondar a posição atual à dezena de jardas (com um grão de 10jj), obtendo x_a e y_a , inteiros; verificar se é detetado a partir dos sensores existentes. Usando o mapa *raster* de coberturas, ler a probabilidade de deteção associada aos índices x_a, y_a . Obter número pseudo-aleatório. Caso contacto não estivesse detetado e o número pseudo-aleatório seja inferior à probabilidade de deteção, o contacto é considerado detetado. Caso o contacto já estivesse detetado no instante anterior, o número pseudo-aleatório só é lançado quando a probabilidade de deteção for inferior a 10%. Esta situação deve-se ao facto de a distância de perda de contacto ser praticamente idêntica ao alcance máximo dos sensores. A situação de deteção é atualizada.

Passo 3, Requalificação do estado. Verificar se na posição atual chegou ao destino. Caso afirmativo: altera a velocidade para velocidade de trabalho; altera o rumo para rumo de trabalho; altera a situação atual. As alterações do passo 2 apenas se irão aplicar no instante seguinte.

Passo 4. Registo e visualização. Caso terrorista, regista a posição atual. A posição final arredondada de cada contacto é adicionada à matriz de densidade de navegação, a qual tem a dimensão do mapa *raster* do terreno. Caso ativa a opção de registo de dados, é registado o tempo computacional necessário para o movimento da embarcação, bem como o tempo necessário para a operação de gravação. Caso ativa a visualização, são alterados os símbolos relativos aos contactos, bem como as cores usadas. Em caso de terroristas, é adicionado um símbolo colorido nas posições ocupadas (cor dependente do perfil).

- **Caso se encontre em trabalho**

Os contactos efetuam passeio aleatório à velocidade de trabalho, tendo que se manter no interior da área consignada. Inclui terrorista tipo 3.

Passo 1. Reposicionamento contínuo. Os contactos são reposicionados para o instante atual, contando com um erro de direção máximo de 30º, erro de velocidade de 1nó e sujeitos às

correntes. O rumo é obtido somando um erro pseudo-aleatório máximo de 15° para cada bordo, a velocidade somando um erro pseudo-aleatório máximo de 1 nó à velocidade de trabalho, estando a nova posição sujeita às correntes, caso as haja.

Passo 2. Manutenção na área consignada. A posição obtida no passo 1 não é registada até se confirmar a manutenção no interior da área consignada. Verificar se a nova posição está no interior da área de trabalho. Caso negativo alterar o rumo em saltos de $+90^\circ$ e reduzir a velocidade em 50%, por cada 4 saltos, até se conseguir uma posição no interior da área. A redução da velocidade está ligada ao *time_step*, que obriga à descontinuidade do movimento. Diminuindo esta variável consegue-se manter o posicionamento mesmo em polígonos de pequena dimensão. Quando se obtiver uma posição admissível, registá-la e ao rumo. A velocidade mantém-se, mesmo que tenha sido necessário reduzi-la para guinar.

Passo 3. Detecção. Idêntico ao passo 2 da situação da navegação para o trabalho.

Passo 4. Requalificação. A atividade de trabalho é controlada pelo tempo passado desde o nascimento. Caso o instante atual seja maior ou igual do que o instante de nascimento mais a autonomia, o contacto deve iniciar a viagem de regresso para a área de nascimento. No caso de terroristas com perfil 3, a autonomia não é correspondente à tipologia. Ao iniciar a viagem de regresso, a situação é alterada e a velocidade passa para a velocidade de cruzeiro prevista na tipologia.

Passo 4. Registo e visualização. Idêntico ao passo 4 da situação da navegação para o trabalho.

- **Caso se encontre de regresso ou esteja em trânsito**

Sujeitos às ações das correntes e a erros de pilotagem, dirigem-se para os locais de destino. Inclui terroristas tipos 1, 2, 3 e 4 (todos os tipos).

Passo 1. Reposicionamento contínuo. Idêntico à situação de trânsito para a atividade.

Passo 2. Detecção. Idêntico ao passo 2 da situação da navegação para o trabalho.

Passo 3. Requalificação. A chegada ao destino marca a situação de morte do contacto. No entanto, devido às reduzidas dimensões das áreas de morte e do espaço percorrido derivado do *ts* (cada embarcação avança um espaço correspondente à velocidade**ts*, o que equivale a 200j para uma velocidade de 10 nós e um *ts* de 0.01 hora), é muito provável que a posição futura ultrapasse a área de paragem. A morte sucede assim caso se verifique pelo menos uma das seguintes quatro situações: a posição futura esteja no interior da área de morte; a distância ao centro da área de morte seja inferior ao espaço percorrido pela embarcação num *ts*; a posição futura esteja no polígono correspondente a terra; a embarcação sofra uma alteração de rumo superior a 90° para governar para o interior da área de morte, o que sucede quando ultrapassa a área e tem de voltar para trás para a atingir. Caso a embarcação seja terrorista, é registado o seu sucesso.

Passo 4. Registo e visualização. Idêntico ao passo 4 da situação da navegação para o trabalho. Na situação de regresso passa a incluir os perfis de ataque tipo 1 e 2. Caso a visualização esteja ativa,

são apagadas as figuras relativas ao contacto (símbolos, vectores, imagens), exceto as relativas ao caminho percorrido por terroristas, que se mantêm ativas.

Tratamento dos mergulhadores terroristas

A existência de agentes cuja deteção decorre de sensores de curto alcance instalados em plataformas móveis apresenta dificuldades de implementação num simulador por ts . Em cada ts , a deteção de um alvo está relacionada com a sua presença no interior do setor de cobertura de um determinado sensor, sensor esse que pode estar embarcado numa plataforma móvel. O simulador ignora tudo o que poderia ser detetado no intervalo entre dois ts . Se com sensores de alcance muito superior à distância percorrida pelo alvo entre dois ts o problema não se coloca, já quando o alcance é inferior à distância surgem dificuldades de implementação da realidade. A figura 79 representa o problema da deteção em simuladores por ts .

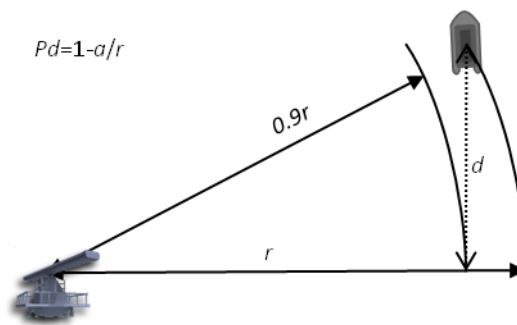


Figura 79. Caminho percorrido por uma embarcação sem ser detetada

Sendo r o alcance máximo de um sensor, d será uma tangente ao círculo de probabilidade de deteção de 10% e secante ao círculo de alcance máximo. Consideremos que a função de probabilidade de deteção (acumulada ou instantânea, dependendo do alvo) é dada por:

$$Pd=1-a/r \quad (6.24)$$

sendo Pd a probabilidade de deteção em função de a , a distância entre o sensor e o alvo, e r o alcance máximo do sensor. Consideremos a possibilidade de entre dois ts consecutivos, um alvo cruzar a área de deteção de um sensor sem ser detetado. Tal será possível se d for inferior à distância relativa percorrida por um contacto entre dois ts . Consideremos ainda que será preocupante o existir um contacto a atravessar a área de probabilidade de deteção de 10% sem ser interrogado. Para que isso aconteça, o espaço relativo percorrido por um contacto teria de ser superior a d , dado por:

$$d^2 = r^2(1 - 0.9^2) \equiv d = 0,436r \quad (6.25)$$

Ou seja, para por exemplo um ts de 0.01h e um sensor fixo de alcance de 3nm (6000jj), seria necessário um contacto deslocar-se a velocidades superiores a 114nó para passar ao alcance do sensor sem ser detetado, conforme determinado por:

$$v = \frac{\sqrt[2]{0.436 \cdot 3nm}}{0.01h} = 114.4nó \quad (6.26)$$

Caso o sensor seja móvel, com velocidades da ordem dos 8nó e com um alcance de 40jardas, mesmo um alvo estacionário consegue evitar facilmente ser detetado. Para evitar este problema, surgem duas opções:

- Aumentar e deformar artificialmente a cobertura do sensor, (figura 80);
- Traçar o movimento relativo esperado entre alvo e sensor e verificar se cruza a área de deteção (figura 81).

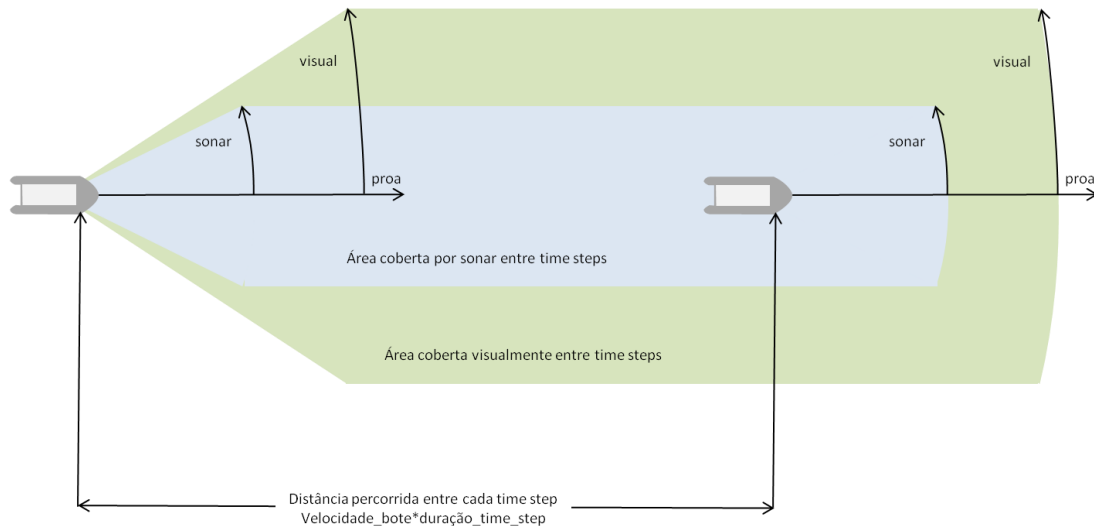


Figura 80. Coberturas de sensores móveis aumentadas artificialmente

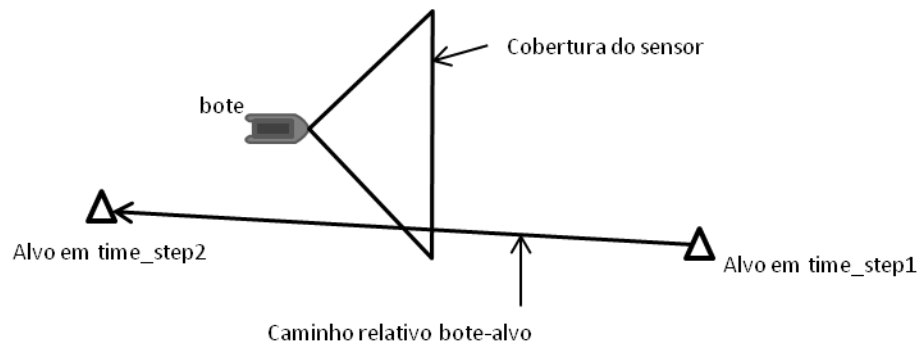


Figura 81. Caminho relativo bote-mergulhador

A 2ª opção (figura 81), apesar de mais pesada computacionalmente, permite um maior rigor na determinação da deteção ou não do mergulhador entre dois *ts* consecutivos. A implementação do processo de mergulhadores (figura 82) passa assim por:

Passo 1. Verificar estado de emergência. Obter distância a todos os botes de segurança. Verificar estado de imersão ou emergência, somando 1 *ts* ao contador de instantes de imersão. Caso seja atingido o limite de imersão passa ao passo 2. Caso contrário passa ao passo 3.

Passo 2 Mergulhador a necessitar de emergir para orientação. Nenhum bote está situado a uma distância inferior ao alcance visual:

- Calcular e atualizar rumo para o alvo, não movimentando o mergulhador;

- Verificar detecção por sensores fixos de superfície; caso detetado, alterar estado de detecção por sensor de superfície fixo. Verificar detecção por sonares fixos; caso detetado, alterar estado de detecção por sonar fixo;
- Caso a distância para algum bote seja inferior a $d+r$, onde d é a distância percorrida por um bote entre dois ts e r o alcance visual do bote, calcular o caminho relativo e verificar a interseção com o polígono de detecção visual (figura 81). Caso detetado, alterar estado de detecção por sensor de superfície móvel, identificando o bote. Repetir o processo anterior para sonares embarcados. Caso detetado, alterar estado de detecção por sonar móvel, identificando o bote.

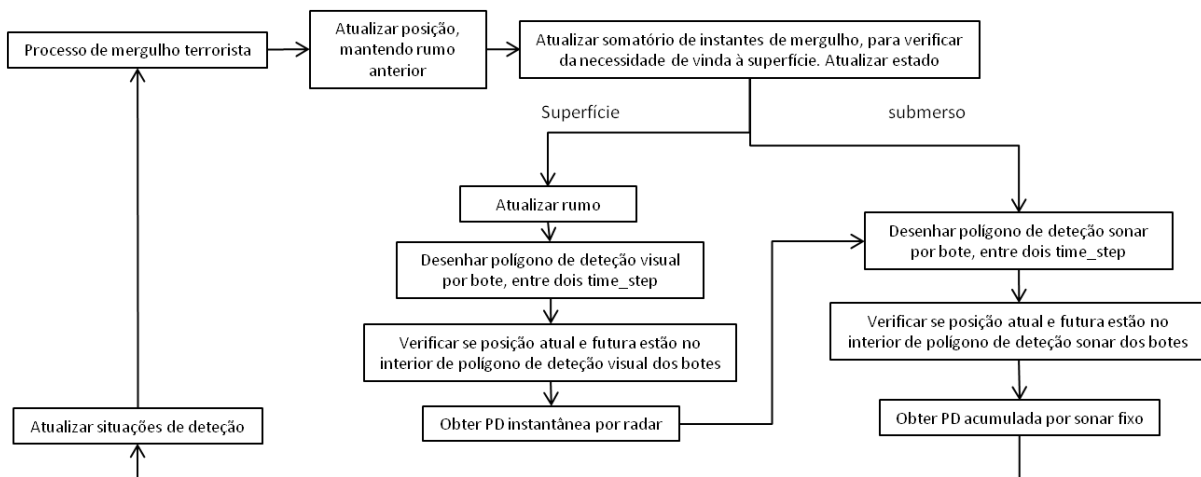


Figura 82. Processo de mergulho terrorista

De maior complexidade, por incluir sistemas de detecção dinâmicos e fixos, de superfície e submarinos.

Passo 3. Movimentar mergulhador imerso.

- Ao rumo anterior é acrescido um erro de navegação pseudo-aleatório entre + e - 5º (devido à impossibilidade de orientação, os erros em cada instante vão sendo acumulados); à velocidade é acrescentado ainda um valor pseudo-aleatório, variável entre a velocidade de trânsito e a velocidade de escape;
- Verificar se ainda se encontra em espaço molhado; caso posição futura coincida com o polígono de terra, variar o rumo de 30 em 30º até encontrar uma posição no espaço molhado;
- Verificar detecção por sonares fixos. Caso detetado, alterar estado de detecção por sonar fixo;
- Caso a distância para um bote seja inferior a $d+r$, onde d é a distância percorrida por um bote entre dois $time_step$ e r o alcance sonar do bote, calcular o caminho relativo e verificar a interseção com o polígono de detecção sonar (figura 80). Caso detetado, alterar estado de detecção por sonar móvel, identificando o bote.

Tratamento da navegação terrorista com perfis 2, 3 e 4 (figura 83)

Perfil 2 e 4 (em trânsito isolado ou acompanhando navio mercante)

Passo 1. Obtém a distância atual ao destino (área crítica) e compara com a anterior.

Passo 2. Caso a distância à área crítica alvo diminua, mantém o perfil anterior e atualiza a distância à área crítica. Caso aumente, altera o perfil para tipo 1 (navegação de regresso), calcula o centro da área crítica alvo e inscreve-a como destino final. Calcula o rumo para este novo destino e passa a segui-lo, sendo agora movimentado de acordo com as regras da navegação neutra.

Passo 3. Registo e visualização. Caso esteja ativada a visualização, são mostrados os caminhos percorridos. Caso esteja ativo o registo, são guardadas as posições e os gastos computacionais.

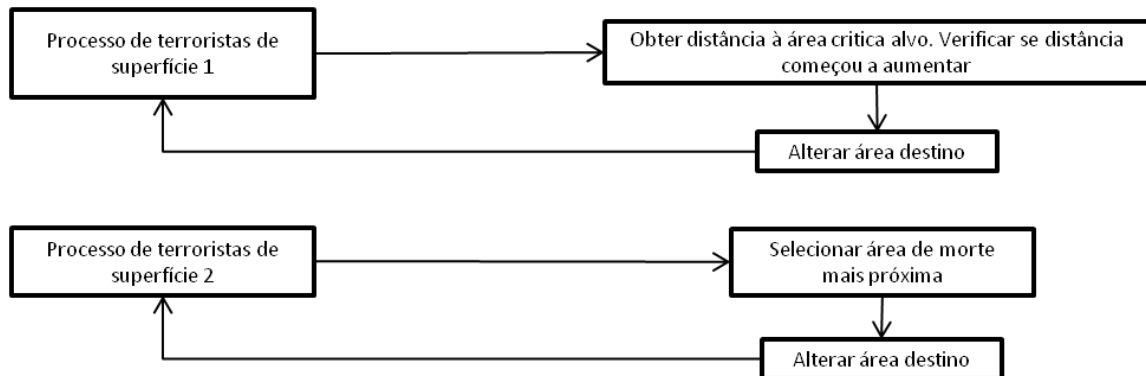


Figura 83. Processo de terroristas de superfície, alteração de comportamento e seleção de área

Perfil 2 (atividade local)

Passo 1. Acrescenta um instante ao contador de tempo de atividade.

Passo 2. Caso não tenha atingido o limite de tempo em espera, mantém a atividade prevista. Caso contrário, calcula o rumo para o centro da área crítica alvo, alterando o perfil para tipo 1.

Passo 3. Registo e visualização. Caso esteja ativada a visualização, são mostrados os caminhos percorridos. Caso esteja ativo o registo, são guardadas as posições e os gastos computacionais.

Falsos contactos

O surgir um contacto num sensor não origina só por si a informação da existência de um objeto com interesse. Para que esse contacto passe a configurar na lista de possíveis alvos para botes, é necessário que seja confirmado por um segundo sensor ou seja confirmado após vários contactos do mesmo sensor, permitindo a análise dinâmica, feita quer pelo operador quer por *software* próprio do sensor. Considera-se como sensor primário aquele que permite cobrir uma maior superfície de deteção, sendo normalmente responsável pela deteção inicial.

Para as embarcações de superfície e mergulhadores emersos a classificação passa pelas seguintes fases (figura 84):

Deteção (início): radar, visual (assistido ou não), sonar;

Localização (obtenção da posição): radar, sonar, triangulação visual, sistemas laser;

Confirmação (validação do contacto como alvo válido, necessita da deteção e localização): software radar, software sonar, software de visual assistido, visual, deteção e localização por segundo sensor, visual presencial;

Identificação (validação do alvo como possível terrorista): visual (assistido ou não);

Classificação (confirmação do alvo como suspeito do terrorismo): visual presencial.

Para as embarcações de superfície, dada a dificuldade de evasão à deteção, consegue-se em tempo útil percorrer toda a cadeia de identificação, enviando botes de segurança apenas quando estritamente necessário. Um contacto radar pode ser considerado como falsa embarcação muito antes de se ponderar a necessidade de empregar meios móveis. Para mergulhadores emersos durante um curto instante de tempo, é normalmente impossível conseguir a confirmação e

identificação em tempo útil, exceto nas situações em que coincide a localização de um contacto por sensor de superfície e sonar.

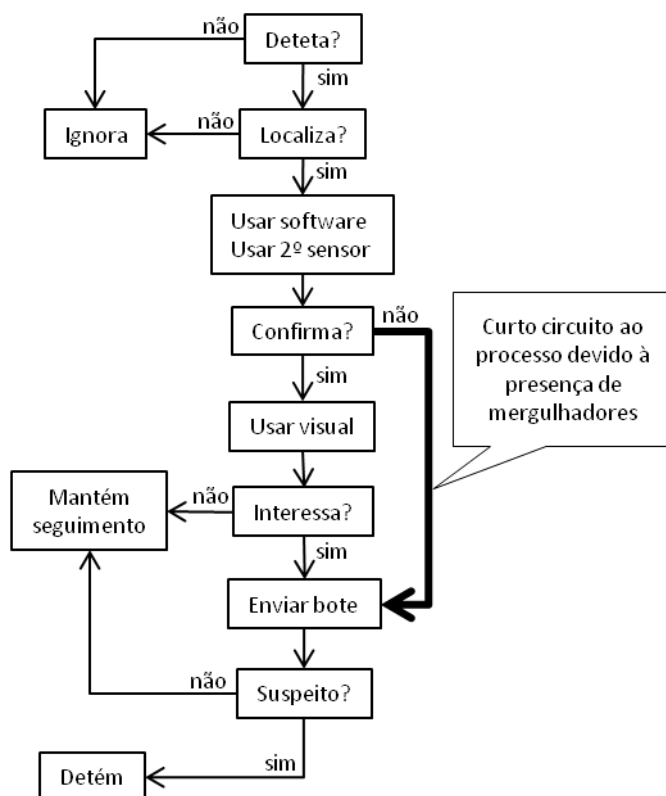


Figura 84. Processo de classificação de superfície

O considerar-se a existência de falsos contactos aumenta o realismo da simulação. De relembrar apenas o sucedido na Guerra das Malvinas, em 1982, onde o HMS Brilliant atacou com torpedos duas baleias, tendo uma terceira sido atacada com helicópteros¹⁵. Este tema da luta contra alvos submarinos de difícil deteção e ainda mais difícil confirmação tem sido objetos de estudos nas Escolas Militares de todo o mundo, apontando-se como exemplos os trabalhos de Harper [42] e Rader [82], ambos dos EUA. Retomando novamente a Guerra das Malvinas, um total de 384 torpedos foram disparados contra alvos submarinos desconhecidos, sendo que posteriormente alguns foram confirmados como sendo vida animal (Ruhe [98]). Para além disso, em diversas ocasiões as unidades navais e helicópteros foram desviados de outras missões para passarem dias inteiros na tarefa de confirmação de contactos, sendo que normalmente usavam torpedos para esse fim. Como conclusão, os contactos falsos são uma constante dos cenários onde intervêm ameaças submarinas, não podendo ser ignorados a nível de simulação.

O processo de classificação de alvos submersos é praticamente idêntico ao da figura 84, com a diferença de que não existe 2º sensor fixo para confirmação, ou seja, para todos os contactos não resolvidos a nível de *software* terá de se considerar o envio de bote com sensor móvel. Não existe nenhum processo para tratamento dos falsos contactos, os quais são inseridos no sistema apenas no instante de nascimento.

¹⁵ Em www.dailymail.co.uk/news/article-2408881/British-warship-HMS-Brilliant-torpedoed-WHALES-Falklands-War.html

6.4.4 Atribuição de alvo

No capítulo 3 foram testadas diversas regras de empenhamento, considerando apenas a existência de embarcações de superfície como possíveis alvos, ficando por considerar a integração de mergulhadores e falsos contactos. Na modelação do simulador foram apresentadas prioridades relativas a embarcações de superfície e mergulhadores, em caso de presença simultânea. A implementação do processo de atribuição de alvo, ilustrada em 85, considera a existência de todas as origens de eventos (embarcações, mergulhadores, falsos contactos).

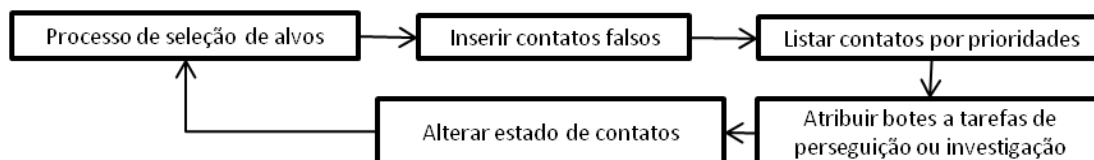


Figura 85. Processo de atribuição de alvos às embarcações de defesa

Passo 1. Seleção de alvos a partir de deteções pelo bote. Caso exista em contacto visual ou de sonar embarcado, com uma confiança de 100%, o bote que efetuou a deteção investiga e força a emersão do mergulhador, podendo abandonar uma vistoria. Neste caso, a embarcação a ser vistoriada permanece como não classificada, retomando a atividade anterior. Selecionar linhas do quadro **merg** em que instante seja idêntico ao atual e Id da situação seja trânsito e deteção por bote sonar seja 1 ou deteção por bote visual seja 1; caso existam linhas, obter identificação do bote que efetuou a deteção; ao bote encontrado, atribuir alvo e inserir a identificação do quadro **merg**. Caso o bote encontrado esteja em perseguição ou classificação, ao alvo, atribuir-lhe o estado anterior. Caso seja terrorista, atualizar a área crítica, selecionando a mais próxima da sua posição atual.

Passo 2. Seleção de alvos a partir de deteções por sonar fixo. Caso exista uma deteção de sonar fixo, as ações de vistoria em curso mantêm-se, já que a confiança da deteção não justifica o abandono de uma ação de classificação. Podem no entanto ser interrompidas as ações de perseguição. Neste caso, a embarcação perseguida interrompe a fuga (caso a tenha encetado), retomando a atividade.

Selecionar mergulhadores em que o instante de nascimento seja superior ao atual, Id da situação seja trânsito e deteção por sonar fixo seja 1. Selecionar falsos contactos em que o instante de criação seja idêntico ao atual e tipo de contacto seja sonar.

Caso existam eventos (mergulhadores ou falsos contactos), para cada evento, selecionar botes que estejam em trânsito de regresso, patrulha ou perseguição de eventos de superfície; calcular a distância de todos os selecionados à posição do evento. Ao bote mais próximo, atribuir-lhe o evento, passando a situação para “investigar contacto sonar”, impedindo que seja desviado para nova investigação. Caso o bote selecionado esteja em perseguição de alvo superfície, atribui-se a esse alvo o estado anterior. Caso esse alvo seja terrorista, atualizar-lhe a área crítica, selecionando a mais próxima da sua posição atual.

Passo 3. Seleção de alvos a partir de deteções radar constantes. Selecionar eventos de superfície ativos no instante, desde que não estejam a ser vistoriados nem tenham sido já classificados, estejam detetados, se encontrem no interior de qualquer área de classificação e tenham a tipologia tipo terrorista. Caso existam eventos nesta situação, e por cada área de deteção:

- Selecionar botes que não estejam em perseguição ou em vistoria e pertençam à área de deteção analisada;

- Selecionar eventos no interior da área de deteção. Caso existam, continuar; caso contrário, analisar a área de deteção seguinte;

Dependendo das opções do utilizador, selecionar como alvo o evento mais próximo do bote ou o evento mais próximo da área crítica. Estas opções foram já testadas no capítulo 3.

- Opção mais próximo da área crítica: listam-se os eventos pela distância à área crítica, por ordem crescente. Existindo vários botes, é selecionado o bote mais próximo do 1º evento e assim sucessivamente.
- Opção mais próximo do bote: existindo vários botes e eventos, é obtida a distância entre todos. Selecionam-se os pares a que corresponda uma menor distância.

Cada bote livre tem agora um contacto inscrito em **boat**, coluna 9, a não ser que o número de eventos dentro da área de classificação seja inferior ao número de botes disponíveis. Na coluna de identificação da origem do contacto deve ficar inserida a identificação do quadro **ponto**.

Passo 4. Seleção de alvos a partir de deteções radar esporádicas. Selecionar contactos registados no quadro **false_contact**, desde que o instante de criação seja idêntico ao atual e o tipo de contacto seja radar. Caso existam linhas, para cada linha:

- Selecionar botes que estejam em patrulha ou de regresso (todos os botes aos quais foram já atribuídos alvos, no presente instante, não são assim considerados, já que a investigação de contactos radar esporádicos tem uma baixa prioridade);
- calcular a distância de todos os selecionados à posição do contacto;
- Ao bote mais próximo, atribuir-lhe o contacto para investigação. Na coluna própria, identificar no quadro **false_contact** como sendo a origem do alvo.

Passo 5. Registo. Caso ativada a opção, é registado o tempo computacional gasto com a atribuição de alvos.

6.4.5 Movimentação dos botes de segurança

Processo de acordo com a figura 86.

Botes sem alvo atribuído, em patrulha. A movimentação do bote deve ser feita por forma a manter-se no interior da sua área de patrulha específica, com velocidade de cruzeiro, mantendo uma busca seguindo um passeio aleatório. Caso saia da área, são testados rumos de 90 em 90º para se manter no seu interior, havendo lugar a diminuição de velocidade caso necessário (regras semelhantes à movimentação da navegação local em atividade, com a agravante de neste caso as velocidades praticadas serem muito superiores). É registado o consumo para a velocidade praticada. Caso ativada a visualização, mostrar símbolo e vector de rumo e velocidade.

Botes sem alvo atribuído, em regresso de vistoria. Dependendo da opção do utilizador, pode regressar ou com velocidade máxima ou com velocidade de cruzeiro, sendo o rumo de regresso obtido com recurso à função “próximo_curso”, tendo como destino o centro da sua área de patrulha. As regras são idênticas às da navegação local quando chega à área de morte, agravadas aqui pelo facto de as velocidades praticadas serem muito superiores. Ao atravessar a fronteira da área de patrulha, altera velocidade e rumo para a situação de patrulha. Caso o regresso seja efetuado à velocidade máxima, o espaço percorrido em cada *time_step* é de 450jj (velocidade de 25nó, *ts* de 0.01 hora), pelo que caso a área de patrulha seja reduzida, existe uma forte possibilidade de não conseguir a entrada. Neste caso singular, a embarcação é reposicionada artificialmente no centro da

área, passando à velocidade de patrulha. É registado o consumo para a velocidade praticada. Caso ativada a visualização, mostrar símbolo e vector de rumo e velocidade.

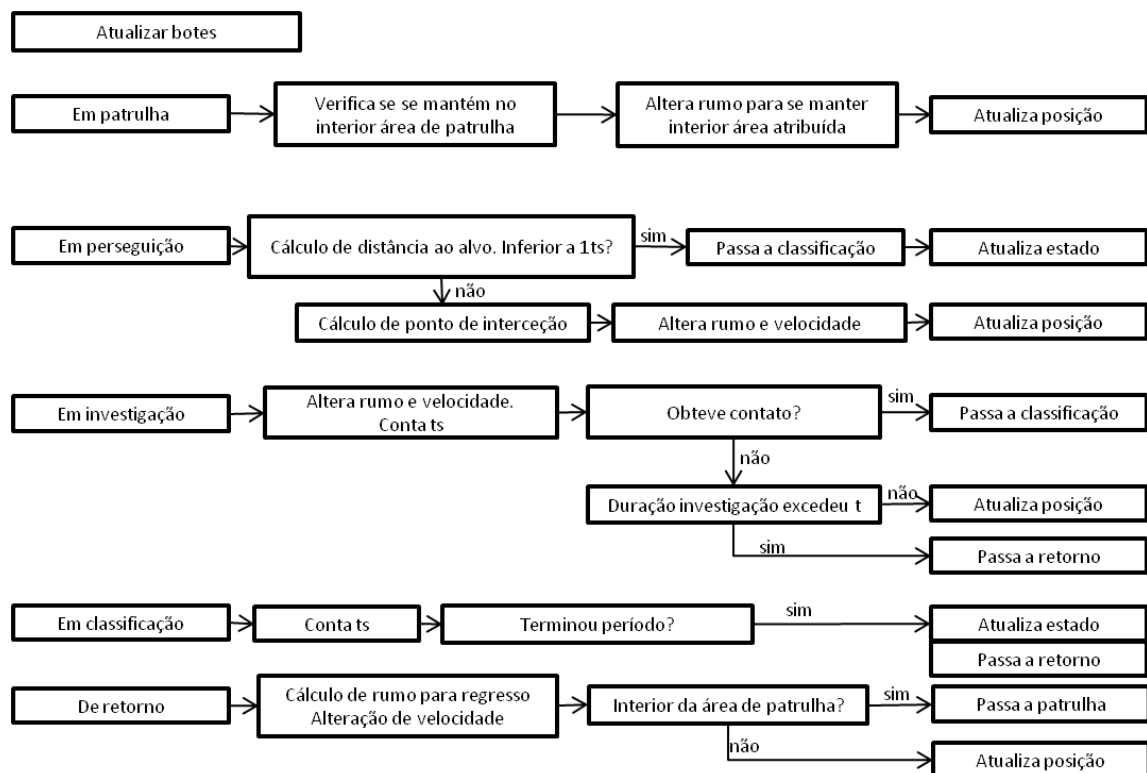


Figura 86. Processos associados aos botes, com variação de estado

Botes em perseguição (alvo dinâmico) ou aproximação (alvo estático). Dependendo da opção do utilizador, a perseguição pode ser efetuada por um dos seguintes métodos, desenvolvidos anteriormente: direto, onde se calcula o próximo rumo tendo como destino a posição atual do alvo, utilizando a velocidade máxima disponível; futuro: utiliza a velocidade máxima disponível e calcula o próximo rumo tendo como destino a posição do alvo no instante seguinte; cinemático: é calculado o caminho mais curto para interceção.

Botes em processo de classificação de embarcações

- Início da vistoria. Para todos os instantes é calculada a distância entre o bote e o alvo a ser intercetado. Considera-se que existe interceção no instante seguinte quando a distância entre o bote e o alvo for inferior à distância percorrida pelo bote num ts . É um artificialismo devido à possível existência de um ts muito elevado, evitando assim perturbações no sistema (o bote ficar a circular em torno do alvo porque as posições no final de cada ts nunca coincidem).
- Vistoria. No instante em que se inicia a vistoria, é iniciada a contagem de tempos, ficando o bote e o alvo indisponíveis para seleção e movimentação. Em termos de visualização, os símbolos do bote e da embarcação ficam coincidentes. A vistoria é considerada terminada quando o número de instantes acumulados for igual à duração definida pelo comportamento da navegação. Caso a embarcação seja terrorista, a vistoria demora sempre o dobro da duração relativa ao comportamento não cooperativo, simulando assim o tempo necessário para a vinda de embarcação da autoridade local para efetuar a detenção.

- Final da vistoria. Caso o alvo seja terrorista, é guardada a informação de insucesso, não voltando a ser movimentado; Caso o alvo seja não terrorista, são repostos os valores anteriores à vistoria, atribuindo-lhe ainda a classificação *Não Terrorista*.

Botes em investigação de contacto sonar ou radar esporádico. A aproximação é sempre feita utilizando a posição atual do alvo como posição futura, contornando obstáculos naturais. Na chegada ao local, aproa à área crítica mais próxima, reduzindo a velocidade para a ótima sonar (definida pelo utilizador). A deteção pelos sensores próprios (sonar ou visual) é analisada no tratamento dos mergulhadores. Caso seja conseguida, transita para o processo de emersão. Caso não conseguida, é interrompida ao fim de um período de tempo determinado pelo utilizador. Durante esse período de tempo, a deteção pode acontecer em qualquer instante de tempo. A busca efetuada é em quadrado expansivo, com distanciamento entre fiadas igual ao alcance do sonar embarcado.

Botes em processo de emersão de mergulhador. O bote passa a esta situação caso detete um mergulhador pelos sensores próprios. Mantém-se nesta situação até que seja esgotado o período temporal definido pelo utilizador. No final deste período, considera-se o mergulhador como embarcado no bote. Não se simula o seu transbordo.

6.4.6 Embarcações suspeitas de terrorismo, em fuga

O utilizador tem a opção de escolher se o terrorista enceta ou não a fuga no instante em que deteta um bote em rumo de interceção. Caso encete a fuga, aumenta o tempo que um bote se encontra dedicado à classificação de um alvo. Um alvo que se encontre a ser perseguido tem essa indicação na matriz de controlo **ponto**. Sempre que tal suceda, a embarcação seja terrorista e o utilizador tenha selecionado a opção de fuga, são efetuados os seguintes procedimentos:

- A embarcação terrorista passa a ser movimentada com as regras de regresso à área de origem;
- No destino da embarcação é colocada a posição de nascimento;
- O estado da embarcação é alterado para fuga;
- A velocidade, é alterada para a velocidade máxima prevista para o tipo de embarcação usado.

Caso a embarcação atinja o destino sem ser intercetado, passa a morta, ficando com o valor de fuga inscrito na matriz **ponto**. Caso seja intercetada, esse valor passa a ser 3, capturado. O movimento do terrorista em fuga é a ultima ação da iteração. A alteração de rumo e velocidade será efetuada na iteração seguinte, guiada pela movimentação de contactos em regresso, garantindo assim um movimento livre de colisões com obstáculos.

6.4.7 Visualização, demora e registo

A capacidade de observar a movimentação dos contactos é essencial para o desenvolvimento e para o utilizador que pretende verificar a capacidade de mimetismo do simulador. Quer um quer o outro podem verificar o efeito de comportamentos, densidades de navegação, desenho de áreas e localização de sensores, alterando dados de origem ou mesmo de implantação. Na figura 87 apresenta-se o estado de uma simulação ao fim de 7.39 horas, com um *ts* de 0.01 horas (equivalente a 739 iterações), 30% de terroristas, todas as camadas de visualização ativadas.

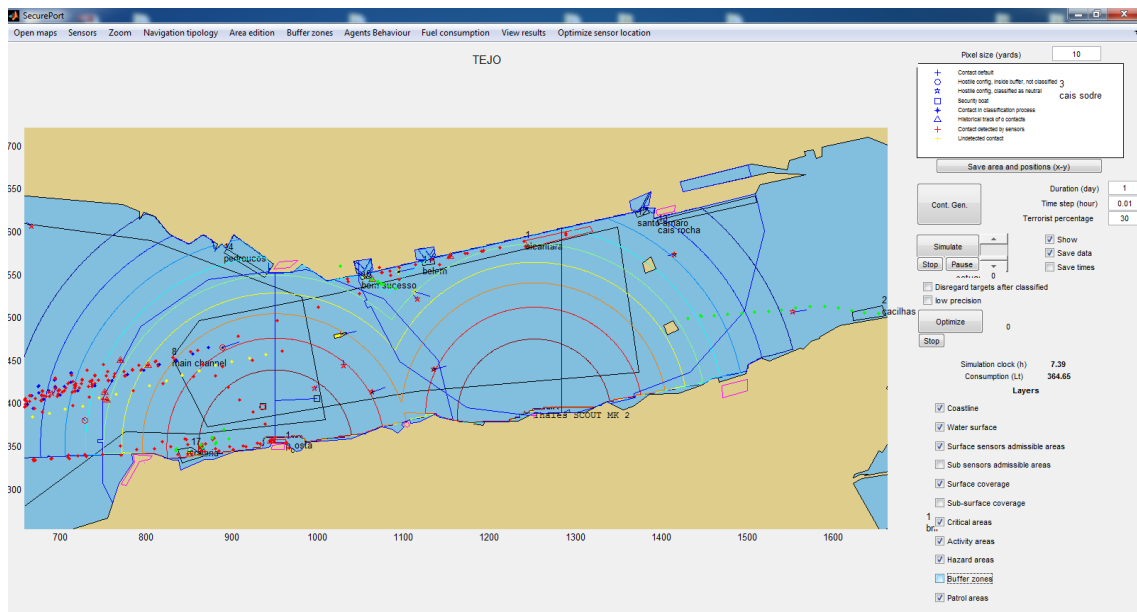


Figura 87. Visualização da dinâmica portuária e do dispositivo de segurança. Representadas 8 horas de simulação (tempo de simulador).

Usando uma estação com processador Intel Core Duo E8400 3.00GHZ, 4.00GB de RAM, 64bits e sistema operativo Windows 7 ultimate, com um total de 430 contactos gerados e uma duração de 24 horas para a simulação, o motor apresentou os seguintes resultados temporais:

- Com visualização e sem nenhuma opção de poupança de tempo: 5m 05segundos;
- Sem visualização e com as opções de esquecer contactos classificados e atualizar rumos de duas em duas iterações: 26segundos;

Face aos resultados, verifica-se que a representação visual com o maior mimetismo possível pode ser bastante gravosa em termos de demora computacional. A conjugação de opções de aligeiramento com a não visualização já permite um gasto temporal muito ligeiro, permitindo correr 180 simulações por hora, importante para a fase de experimentação ou análise de resultados.

Em média, os dados registados ocupam 87Kb de memória, para 430 contactos e uma duração de simulação de 24 horas. A informação é guardada nas seguintes estruturas:

- **contador_densidades**; dimensões do mapa raster, guarda o número de ocorrências posicionais em cada quadrícula, durante a simulação;
- **dens_horaria**; dimensão do nº de iterações da simulação, guarda o nº de contactos ativos em cada iteração;
- **g_terr**; dimensão do nº de contactos gerado, guarda posições ocupadas por terroristas;
- **gastos_tempo**; com tantas linhas quanto o nº de iterações, guarda a informação de gastos computacionais em 5 fases da simulação (demora na execução das funções de movimentação de contactos neutros e terroristas, seleção de contactos, atribuição de contactos a botes de segurança, movimentação de botes de segurança, gravação de resultados em cada iteração).
- **ponto**; guarda as quadros de embarcações e mergulhadores finais;
- **boat_work**; guarda os estados dos botes de segurança em todos os instantes.

Os resultados gráficos da simulação recorrem a estas estruturas de dados, sendo apresentados no capítulo 7.

CAPÍTULO 7. SIMULADOR – EXPLORAÇÃO

No capítulo anterior foram desenvolvidos modelos, processos e interfaces relativos ao funcionamento do simulador. No presente capítulo serão abordados os tópicos relativos à exploração do simulador para otimização da área de patrulha individual, quantidade de embarcações, resultados táticos e o gráfico de apoio ao decisor estratégico.

7.1. DESENHO DE ÁREAS PARA ATRIBUIÇÃO A EMBARCAÇÕES

Para além da quantidade de embarcações de segurança a atribuir e das regras de empenhamento a estabelecer, também a sua distribuição espacial carece de otimização, a qual apenas será possível recorrendo a diversas corridas do simulador. O desenho de áreas para patrulha individual permitirá que se utilizem diversas configurações de áreas para o mesmo número de embarcações. O *SecurePort* permite o acesso a três métodos para cálculo das áreas de patrulha, designadamente *Blue waters*, *Voronoi* e *Confined waters*. Dependendo do método escolhido, devem ser definidos valores para as seguintes variáveis:

- Raio da área de classificação rc , em milhas náuticas, em torno da respetiva área crítica;
- Raio da área de patrulha, $rp \in [0,1]$, em função do raio da área de classificação, sendo que podem ser idênticas;
- Quantidade de embarcações atribuídas à área crítica, n .
- Número de camadas da área de patrulha (caso tenha sido definido mais do que duas embarcações em patrulha);
- Prioridade de cada camada, $p_i \in [0,1]$;
- Raio da primeira camada, $r_1 \in [0,1]$, em função do raio da área de patrulha.

Desenho da área de classificação e patrulha. O desenho da área de classificação, em torno da área crítica, segue os seguintes passos:

- Utilização de função “*bufferm2*”, programada a partir da função “*bufferm*” nativa do MATLAB, evitando a necessidade de converter coordenadas x-y para latitude-longitude. Obtém-se um polígono externo à área crítica (*buffer*) e distante desta do número de milhas náuticas introduzido pelo operador;
- Obtenção da interseção entre dois polígonos com coordenadas x,y, usando a função nativa do MATLAB “*polybool*”. Os dois polígonos são o resultante do traçado do *buffer* e o polígono da linha de costa.

Da interseção poderá resultar uma área descontínua, sendo que algumas das subáreas criadas se encontram a uma distância da área crítica superior ao raio definido para a área de classificação (são visíveis algumas destas áreas na figura 88), seguindo um trajeto exclusivamente marítimo. O desenho da área de patrulha segue os mesmos passos que para o desenho da área de classificação. Posteriormente, esta área de patrulha é dividida pelo número de botes atribuído à área. Cada área crítica tem o seu sistema de comando e controlo e tem a responsabilidade de coordenar os esforços das suas embarcações, podendo existir áreas sobrepostas.

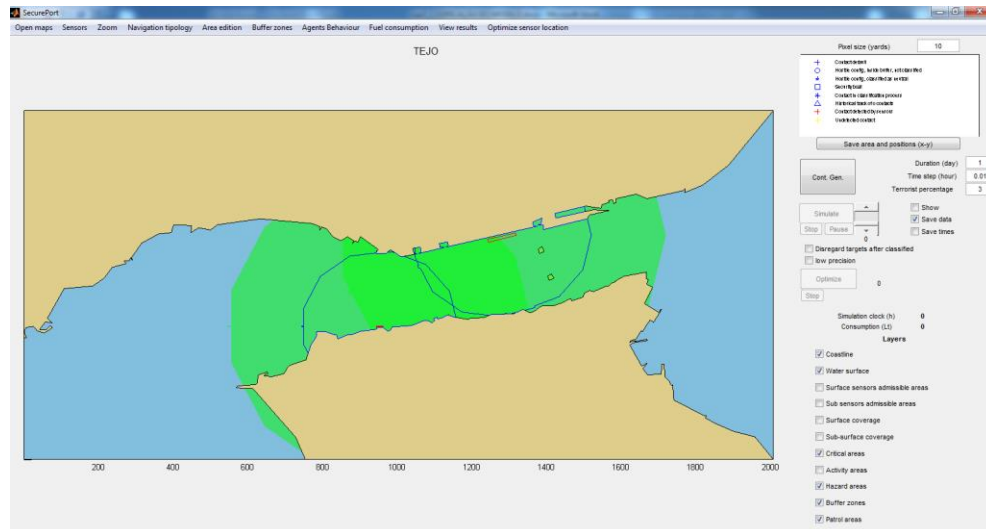


Figura 88. Desenho das áreas de classificação e patrulha a partir de duas áreas críticas

Métodos de partição da área de patrulha pelos botes atribuídos

Dentro da área de patrulha, cada embarcação deverá ter delimitada a sua zona de patrulha, evitando assim a existência de espaços sem sensores móveis, uniformizando a carga de deteção dentro da área e diminuindo a possibilidade de colisões entre elas. Não está em causa a possibilidade de atribuição do mesmo alvo a duas embarcações, já que essas instruções são emanadas do centro de comando, ou seja, um padrão de embarcação não tem a autonomia de decidir quem ou o que deve investigar. Tendo em conta que em situações reais as áreas têm de ser transmitidas a pequenas embarcações, é de todo conveniente que os seus limites sejam lineares.

- **Blue Waters.** O método *Blue Waters* ignora o efeito da costa para o cálculo das áreas individuais. Necessita da informação do sector molhado e divide-o radialmente pelo número de botes, a partir do centro da área crítica. Caso a área de patrulha seja intercetada pela linha de costa, não garante a igualdade na partição, podendo haver áreas de patrulha nulas. Tem como vantagem a extrema rapidez de cálculo das áreas individuais a atribuir a cada embarcação, o que se torna crucial em qualquer processo de otimização, com milhares de iterações. Outra vantagem deste método é o garantir fronteiras lineares entre áreas de patrulha individual.
- **Voronoï.** Este método utiliza um diagrama de *Voronoï* para dividir a área de patrulha pelos botes atribuídos, conseguindo equidade na divisão de áreas por botes. Ignora o número de camadas e a importância dada a cada uma delas. Apresenta dificuldade com contornos complexos da linha de costa, apresentando por vezes soluções sem sentido prático, além de dificuldades em convergir. Tem ainda a desvantagem de não definir fronteiras lineares entre áreas.
- **Confined Waters.** Devido às desvantagens observadas nos métodos anteriores, foi desenvolvido o seguinte algoritmo para a partição de áreas, o qual aceita as seis variáveis de decisão relativamente ao desenho individual de áreas.

1º passo. Obtenção do número de botes por camada. Obtém um polígono resultante da interceção entre a área molhada e um círculo com o raio da área de patrulha, centrado no centro da área crítica (figura 89). Calcula a área desse polígono, em jardas quadradas, a_t . Utiliza o mesmo processo para obtenção dos polígonos e áreas relativos à primeira e segunda camada, obtendo a_1 e a_2 , respetivamente.

Sejam p_1 e p_2 as prioridades da primeira e segunda camada, em que p_1 é fornecido pelo utilizador ou heurística de otimização e $p_2=1-p_1$. Sejam n_1 e n_2 o número de botes da primeira e segunda camada, em que $n=n_1+n_2$, definidos por:

$$n_1 = \frac{p_1 a_1}{p_1 a_1 + p_2 a_2} n, n_2 = n - n_1 \quad (7.1)$$

2º passo. Obtenção de áreas individuais de patrulha. Por camada, a área, em jardas quadradas, de patrulha média por bote, dependendo da camada em que se encontra, é obtida calculando $ap_1=a_1/n_1$ e $ap_2=a_2/n_2$.

Conforme exemplificado na figura 89, a 2ª camada foi dividida em secções com a mesma diferença angular, a partir do centro da face molhada da área crítica, obtendo-se depois a área coberta por cada secção. A partir de um dos extremos, as várias secções são adicionadas, até se obter uma área igual à área média por bote. Quando o algoritmo encontra uma descontinuidade da área tem duas opções:

- Caso a área já coberta seja inferior a metade da área média, fica atribuída ao bote anterior; é calculada nova área média para os botes ainda por atribuir. No entanto, caso se esteja a desenhar a área para o 1º bote da camada, esta fica-lhe atribuída, sendo calculado novo ap com a restante área e botes.
- Caso a área já coberta seja superior a metade da área média, fica atribuída a novo bote; é calculada nova área média para os botes ainda por atribuir.

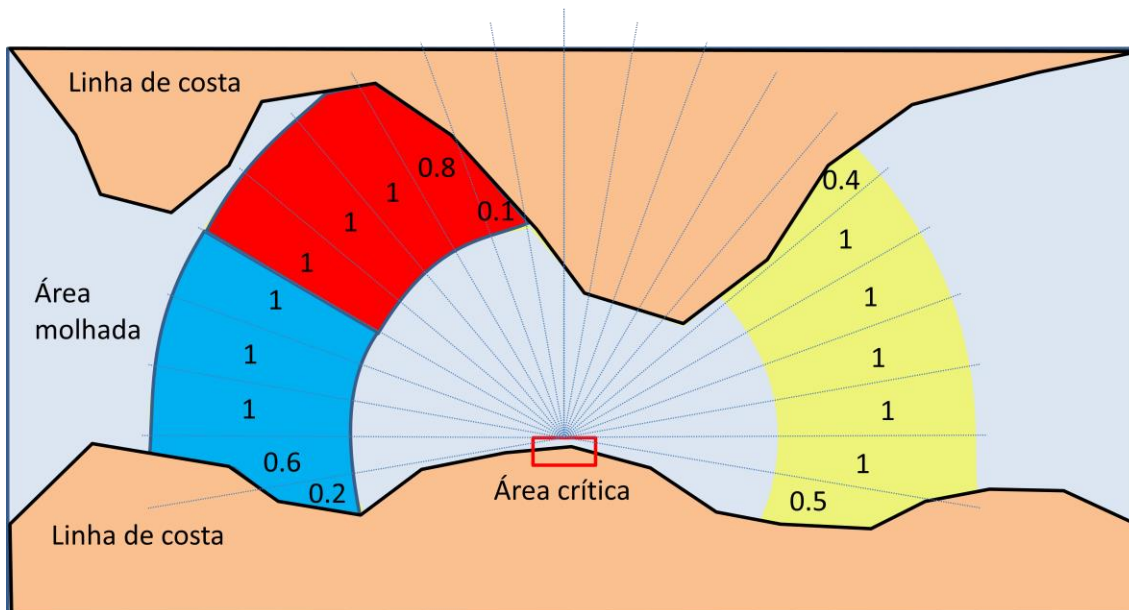


Figura 89. Desenho de áreas individuais de patrulha, 2ª camada com 3 botes

3º passo. Melhoramento. Após terminar o 2º passo, é normal que as áreas, em jardas quadradas, atribuídas aos botes não sejam iguais, devido às descontinuidades geográficas. Área a área, são testadas trocas de secções adjacentes, tentando minimizar as distorções, garantindo sempre que nenhum bote fica com áreas descontínuas. É igualmente testada a situação em que se inicia o 2º passo a partir do extremo oposto, comparando as duas hipóteses e seleccionando a de menor variação.

- **Comparação dos métodos de partição de área**

Os métodos foram comparados segundo a rapidez computacional de execução, o número de parâmetros suportados, exequibilidade (aplicação na realidade), convergência e equidade entre áreas individuais de patrulha, apresentando-se os resultados no quadro 48.

Quadro 48. Comparação entre métodos de traçado de áreas individuais

	<i>Blue waters</i>	<i>Voronoi</i>	<i>Confined waters</i>
Rapidez	Elevada	Baixa	Baixa
Parâmetros	5	2	5
Exequível	Sim	Não	Sim
Convergência	Sempre	Não quando existem descontinuidades	Sempre
Equidade	Não	Sim	Sim

O método *Confined waters*, apesar da carga computacional exigida, permite um maior controlo sobre as áreas individuais, garantindo sempre que se consegue uma solução exequível, permitindo aos botes manter a posição a partir de azimutes e distâncias. Um exemplo da utilização dos métodos praticados em áreas restritas é apresentado na figura 90.

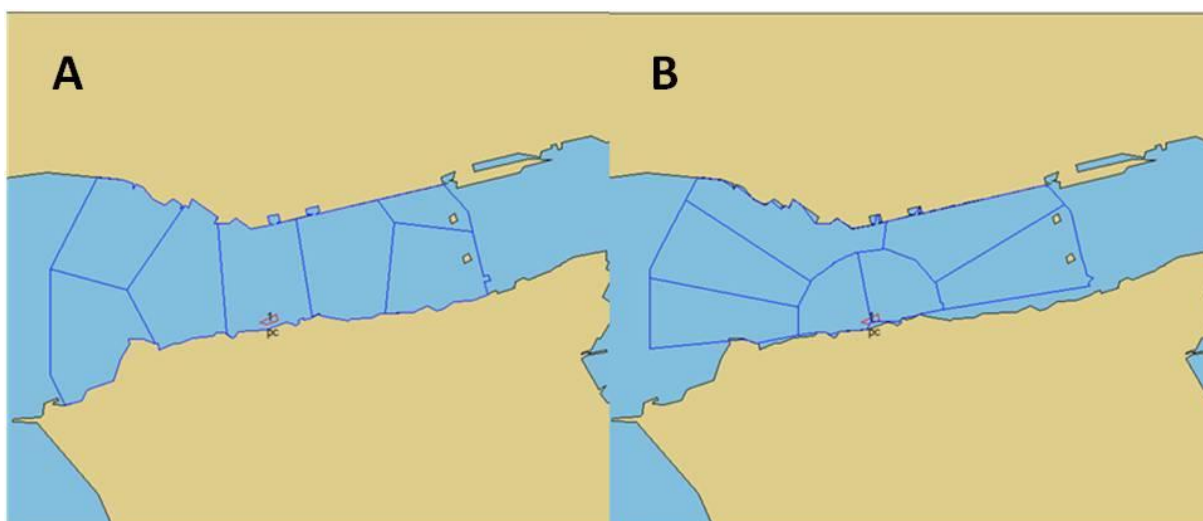


Figura 90. Comparação de resultados obtidos com os métodos de partição de área. Voronoi (A), para 7 embarcações e *Confined Waters* (B), igualmente para 7 embarcações com 2 camadas.

7.2. VISUALIZADOR DE RESULTADOS

7.2.1. Preparação da simulação

Visualização de todas as camadas de informação carregadas manualmente ou produzidas pelo otimizador de coberturas por sensores fixos e pelo algoritmo de desenho de áreas de patrulha. Na figura 91 podem-se observar 12 camadas de informação em simultâneo.

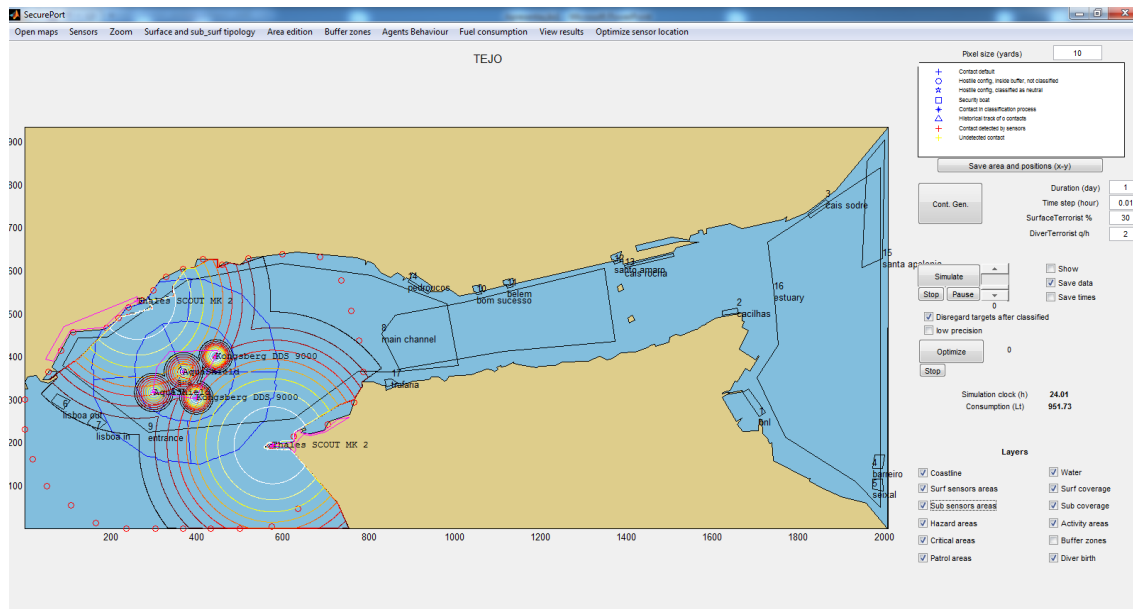


Figura 91. Visualização de 12 camadas de informação.

7.2.2. Comportamento dos agentes

Durante a simulação, é possível observar com detalhe o comportamento de todos os agentes envolvidos e respetivas interações, quer com o ambiente quer com outros agentes. Representam-se ainda os alcances dos sensores embarcados, permitindo corrigir parâmetros que possibilitem uma maior aproximação com a realidade (figura 92).

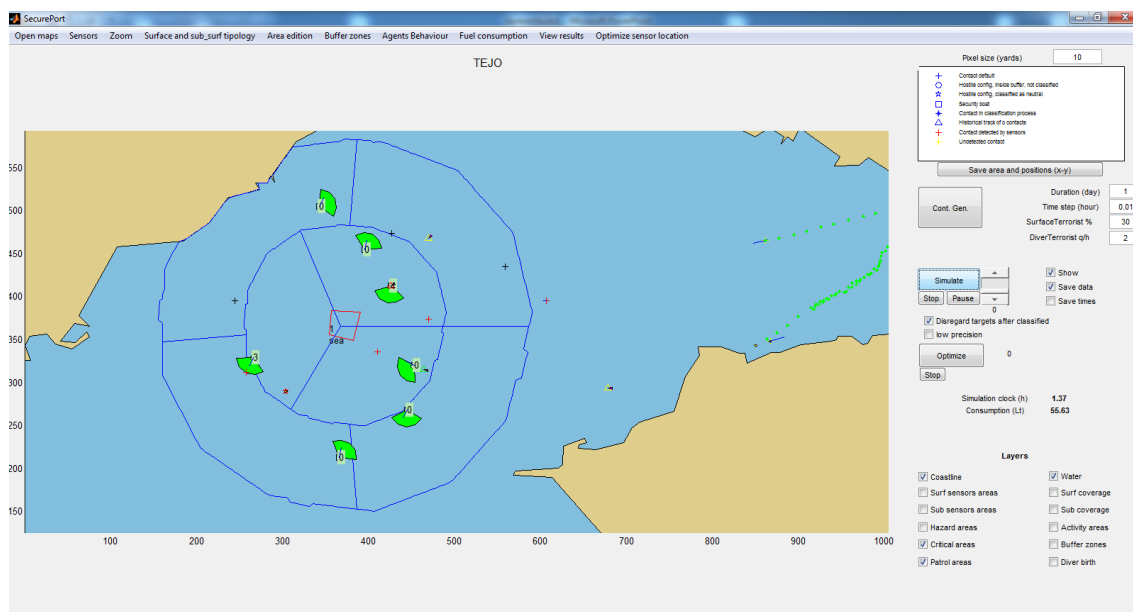


Figura 92. Visualização da cobertura de sensores embarcados.

Embarcações patrulhando as respetivas áreas individuais. A partição foi efetuada pelo método *Confined waters*.

Esta fase de correção é efetuada juntamente com especialistas, não existindo nenhum parâmetro codificado, ou seja, a alteração pode ser efetuada pelo operador.

7.2.3. Densidade de navegação

Após a corrida de uma simulação, representam-se as densidades de navegação por quadrícula, utilizando 40 níveis distintos. Na figura 93 são visíveis as rotas dos transportes de passageiros fluviais, a grande atividade junto das docas na zona mais estreita do rio e os canais de entrada e saída da barra.

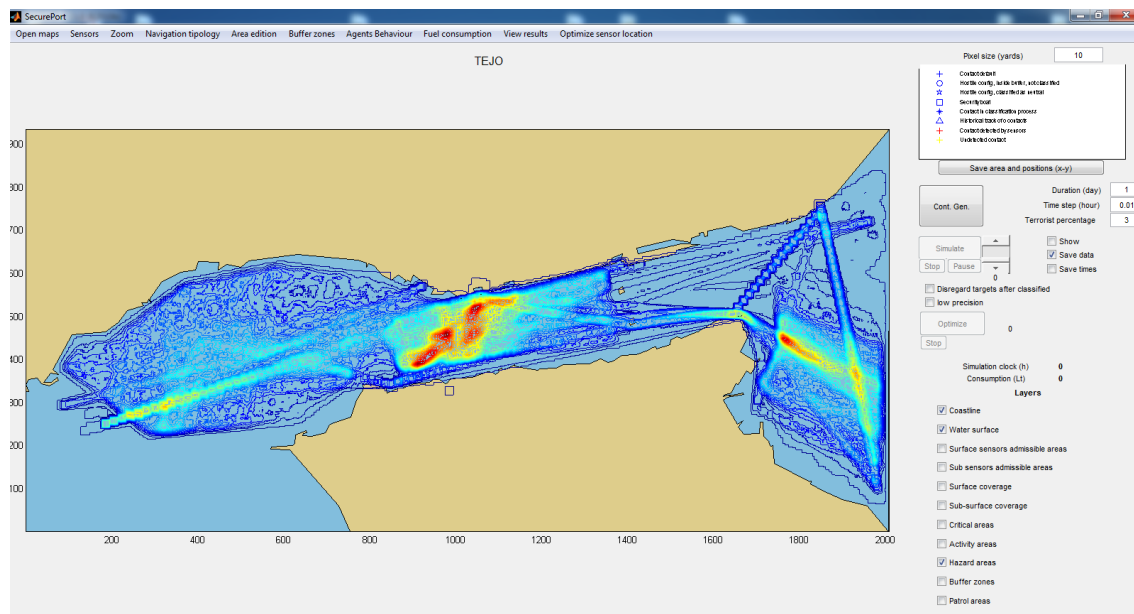


Figura 93. Densidade de navegação após 48 horas de simulação, total de 980 contactos.

Face a esta observação e à sensibilidade de um conhecedor local, podem ser alteradas áreas e densidades, de modo a que o resultado final se aproxime das expectativas do utilizador. As densidades obtidas dentro da área de classificação podem ser usadas para definir a quantidade de embarcações necessária, usando os resultados dos experimentadores do capítulo 3.

7.2.4. Derrotas dos terroristas

No *cell_array g_terr* são guardados os dados das derrotas (ou caminhos) percorridos pelas embarcações e mergulhadores terroristas. Os quadros *ponto_ini* e *merg_ini*, gerados inicialmente, guardam toda a informação no momento do nascimento dos contactos, enquanto as quadros *ponto* e *merg*, no final da simulação, guardam toda a informação relativa ao instante da morte.

O cruzamento da informação destas estruturas de dados permite obter as visualizações da figura 94. Da observação das derrotas na figura 94A, é possível identificar o perfil assumido por cada terrorista, analisando o comportamento, o sucesso de cada ação, observando a cor e os locais de partida e passagem que, por permitirem o sucesso dos terroristas, necessitam de maior atenção por parte do dispositivo de segurança. Reportando à figura 94A, observam-se mergulhadores terroristas com sucesso a magenta, com insucesso a ciano, embarcações terroristas com sucesso a vermelho, capturadas a azul, divergidas a amarelo.

A informação georreferenciada necessita no entanto de ser cruzada com a informação temporal, apresentada na figura 94B. Apesar de o pico de densidade da navegação se observar entre as 10.00 e as 15.00, é na fase de crescimento que se observa o maior número de ações terroristas com sucesso.

É com a entrada de novas embarcações na área de classificação que os botes de segurança se encontram mais ocupados em ações de vistoria, permitindo que terroristas passem despercebidos. Esta situação sucede tanto com terroristas em mergulho como para terroristas em navegação dissimulada com navio mercantes. Estes resultados poderão levar a duas ações subsequentes a nível tático: colocar um bote de segurança dedicado exclusivamente a pesquisar junto da navegação mercante; colocar uma zona de interdição marítima junto de costa, obrigando os mergulhadores a deixarem de praticar essa zona. É por este motivo que estes resultados são essenciais para o comando tático, podendo assim decidir por alterações a impor ao cenário (criação de áreas de restrição, facilmente implementadas através da facilidade de criação de obstáculos) e correndo novamente o simulador.

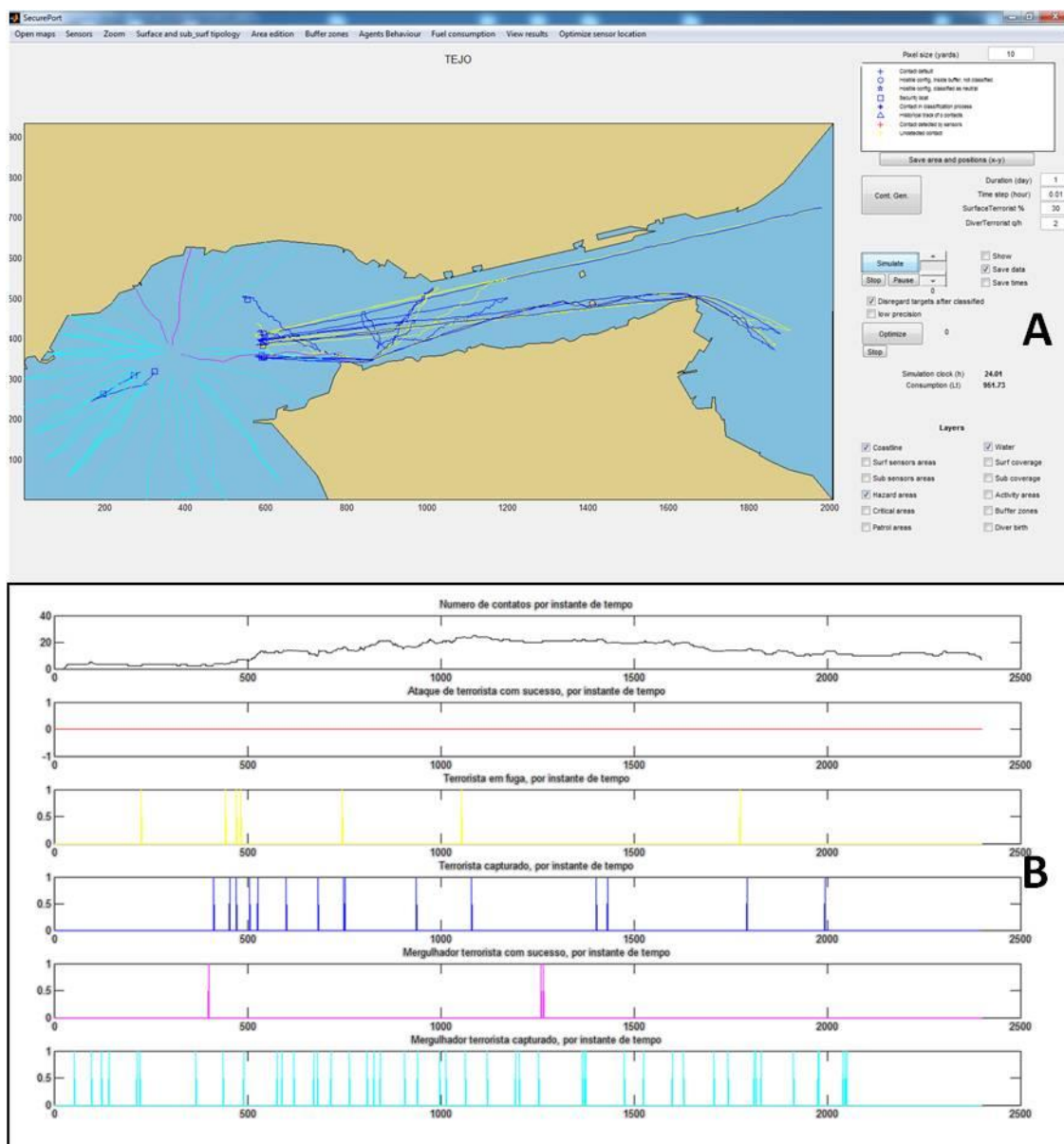


Figura 94. Representação de rotas e tempos.

É de notar que estes resultados decorreram de apenas uma simulação, onde o número, perfis e locais de nascimento dos terroristas foi aleatório. Apenas analisando várias simulações se pode chegar a boas soluções táticas para aumento do sucesso do dispositivo de segurança.

7.2.5. Ocupação das embarcações em patrulha

Na figura 95A é representada a ocupação de cada embarcação atribuída a uma área individual de patrulha. Este relatório permite ao utilizador ou otimizador alterar os parâmetros usados na partição de áreas, dando maior peso à camada mais interventiva. O relatório da figura 95B permite detalhar as tarefas ao longo do tempo e a carga por embarcação, permitindo uma maior compreensão sobre os resultados da figura 95A. Na figura 95A, visualiza-se geograficamente a área onde ocorreu uma maior carga de ocupação, não se distinguindo se foi em perseguição, investigação ou vistoria. Na figura 95B é possível observar que as embarcações das áreas 1, 2, 3 e 6 foram as mais sobrecarregadas na investigação e tratamento de mergulhadores, enquanto as restantes foram usadas maioritariamente em patrulha.

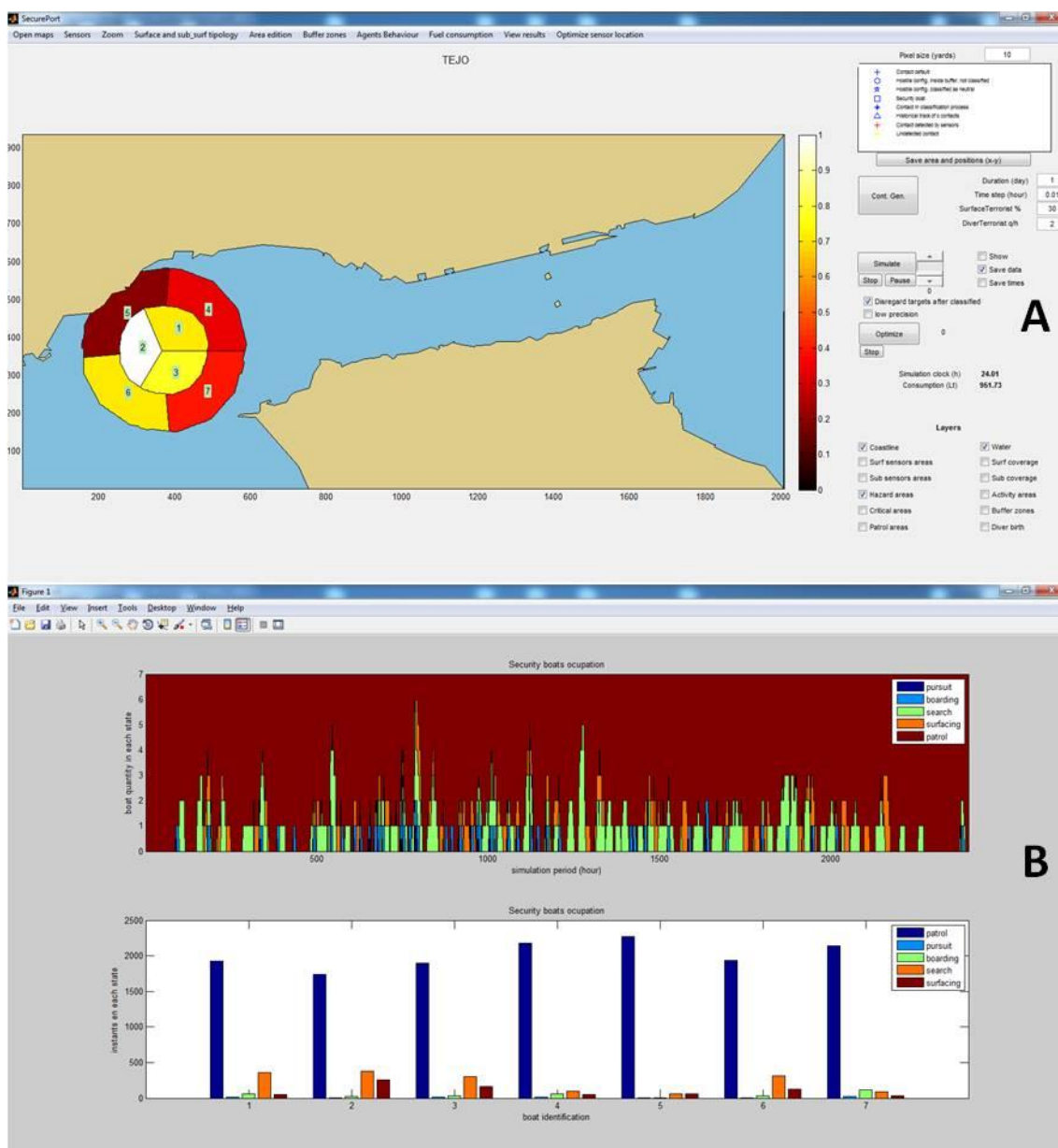


Figura 95. Trabalho das embarcações por área individual de patrulha.

7.2.6. Gastos computacionais

Com a opção “*save times*”, são guardados os gastos computacionais, apresentados na figura 96, com a única e exclusiva função de apoiar o desenvolvimento do simulador. Como observado na figura do meio, a movimentação e visualização da navegação é demasiado dispendiosa (existem instantes em que é necessário quase um segundo para movimentar e representar todos os contactos), pelo que se tornou necessário encontrar métodos de aliviar estes tempos sem prejudicar em demasia a mimetização da realidade.

Para tentar aliviar os gastos computacionais, foram desenvolvidas diversas opções, ficando a cargo do utilizador a sua implementação em cada simulação, designadamente: não visualização da simulação; não guardar tempo de computação; após se classificar uma embarcação neutra, deixar de a movimentar, já que deixa de ter interesse para a solução; não calcular o próximo rumo em todos os instantes, calculando-o apenas em cada dois instantes. A aplicação destas medidas, exceto a relativa a guardar os resultados da simulação, resultou nos tempos apresentados na figura 96C. Para um período a simular de 24 horas, conseguiu-se assim reduzir o tempo de simulação de cerca de 5 minutos para 26 segundos.

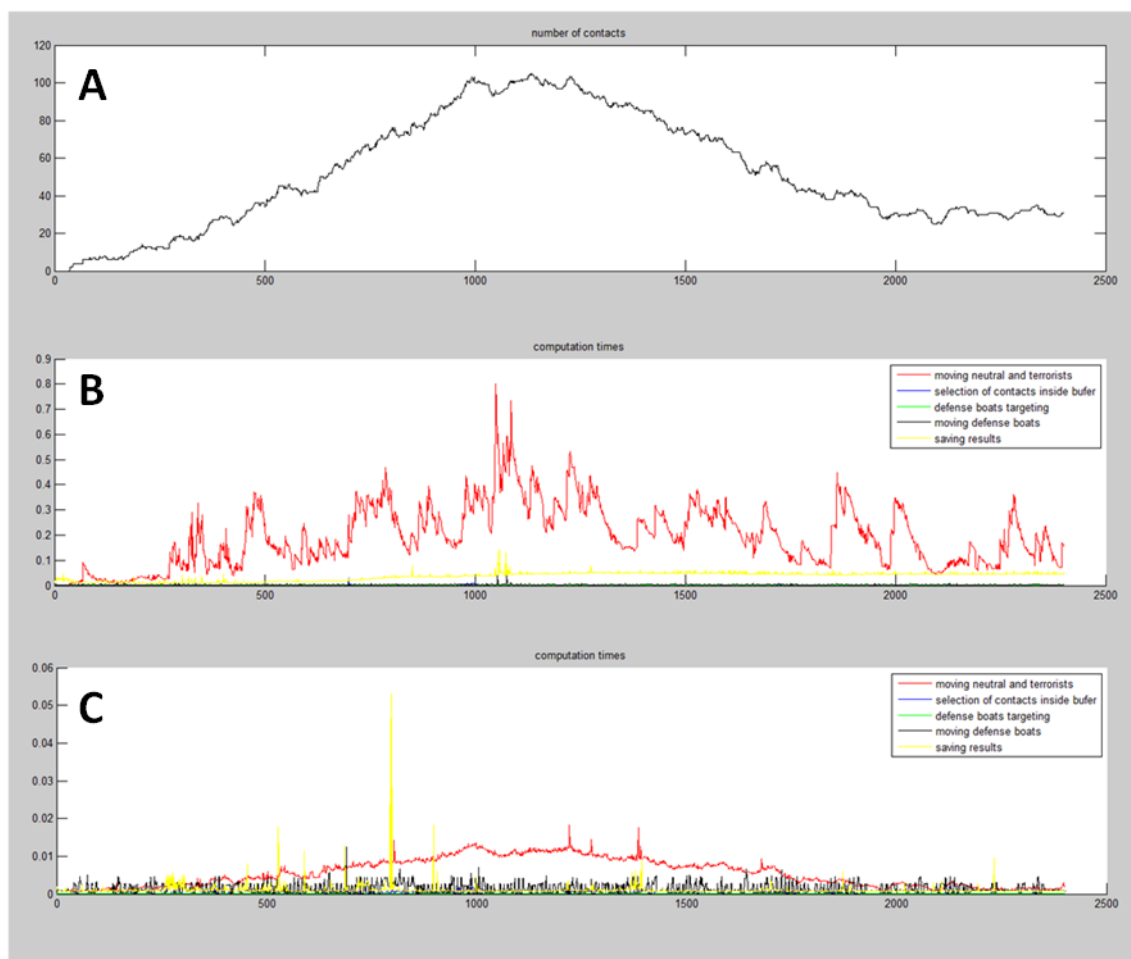


Figura 96. Densidade de navegação e gastos computacionais.

7.3. OTIMIZAÇÃO INTEGRADA

Utilizando todas as ferramentas desenvolvidas, é agora possível obter a resposta aos objetivos inicialmente traçados. O otimizador integrado recebe os dados da cobertura fixa de sensores, as regras de atribuição de tarefas e utiliza o simulador completo para obter uma visão aprofundada sobre o sucedido em cada simulação. Desta forma, são definidas as restantes variáveis de decisão, associadas ao desenho das áreas de patrulha coletiva e individual a atribuir aos meios móveis.

7.3.1. Otimização

Variáveis de decisão a obter. Com a implementação do simulador, recorrendo à otimização prévia da cobertura e regras de atribuição de tarefas a embarcações, é implementada uma heurística para melhoramento das variáveis de decisão associadas ao desenho de áreas, designadamente raio da área de patrulha; raio das camadas; peso das camadas; número de botes. Para a 1ª corrida do otimizador, as variáveis de decisão foram limitadas a (figura 97, quadro de *decision variables*):

- Raio da área de patrulha $\in [0.3, 3]$ nm;
- Nº de camadas $\in \{1,2\}$;
- Raio da 1ª camada $\in [0.2,0.8]$ *raio da área de patrulha;
- Peso da 1ª camada $\in [0.1,10]$;
- Quantidade de botes $\in \{1,...,10\}$.

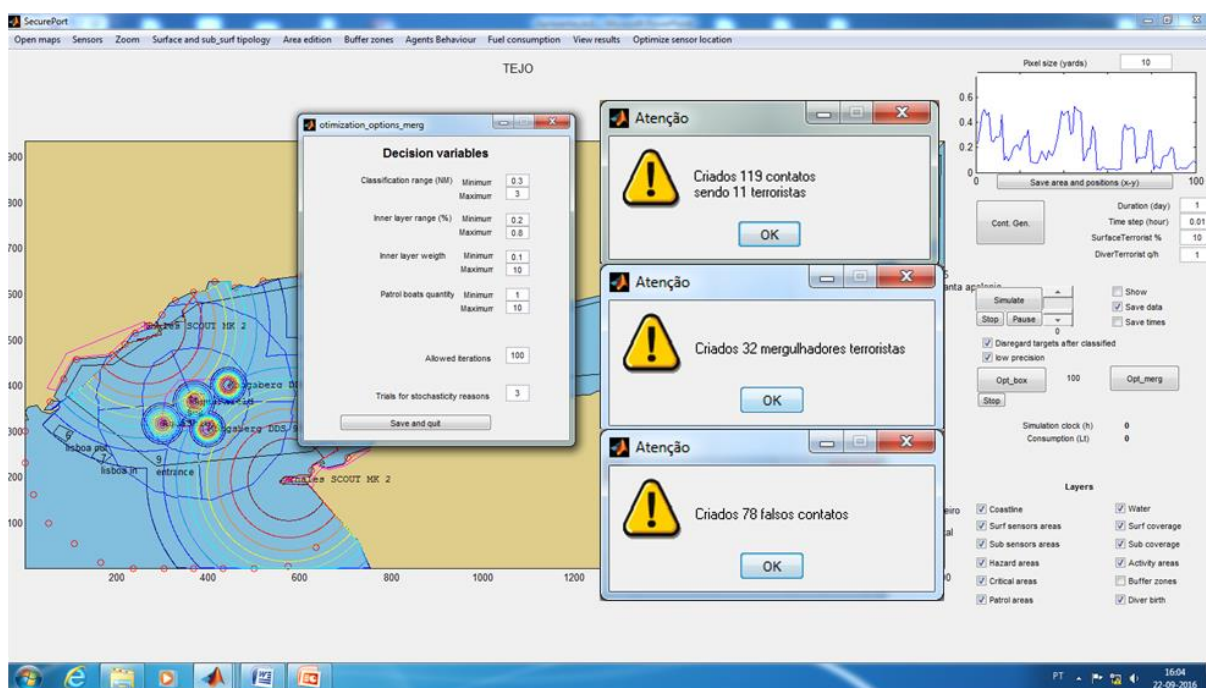


Figura 97. Otimização de variáveis usando um simulador completo.

Estão ativas as camadas provenientes quer da fase de edição quer do otimizador de cobertura. Da geração de contactos decorreu a criação de 119 embarcações, sendo 11 terroristas, 32 mergulhadores terroristas e 78 falsos contactos.

Metodologia. Para cada conjunto de variáveis de decisão testadas (iteração), são corridas três simulações, para atender à aleatoriedade associada aos movimentos das embarcações neutras e terroristas. O teste de uma solução demora 44s, sendo 2.4s para o desenho das áreas de patrulha, usando o método “Confined Waters”, 0.0001s para atribuição de áreas aos botes e 14s por simulação. O otimizador associado ao simulador completo guarda 13 dimensões por iteração, descritas no quadro 49.

Quadro 49. Resultados gravados por iteração

Objetivo	Adversariais	Decisão	Auxiliares
Sucesso total	Quantidade de	Raio da área de patrulha	Ocupação individual dos
Sucesso dos terroristas de superfície	terroristas de superfície	Nº de camadas	botes da 1ª camada
Sucesso dos terroristas de mergulho	Quantidade de	Peso das camadas	Ocupação individual dos
Custo, incluindo o consumo medido	terroristas de mergulho	Raio das camadas	botes da 2ª camada
das embarcações		Quantidade de botes	

As colunas com as variáveis de decisão constituem a solução. Todas as restantes colunas servem para visualização de resultados e auxílio da escolha da próxima solução. Para encontrar uma boa solução, a metodologia testada recorre aos indicadores proporcionados pelas variáveis auxiliares, ao sucesso total e à relação entre as variáveis de decisão e o sucesso.

Objetivo principal da otimização integrada: max sucesso

Objetivo auxiliar: $\min \{(\text{ocupação botes 1ª camada}) - (\text{ocupação botes 2ªcamada})\}$

1º passo. Arranque

Selecionar aleatoriamente uma solução admissível, dentro dos limites estabelecidos pelo utilizador;

2º passo. Melhoria baseada em indicadores auxiliares e sucesso

Obter resultados por simulação; caso existam botes que tiveram uma baixa ocupação (inferior a 1/10 da corrida), reduzir o nº de botes numa unidade.

Quando estiverem todos ocupados e com equilíbrio entre camadas, reduzir o raio de patrulha. Caso não seja possível uma maior redução, aumentar a quantidade de botes numa unidade.

Quando uma das camadas tiver maior ocupação, reduzir o raio da camada e aumentar o peso, de forma alternada.

Contar o número de iterações:

Interrompe o algoritmo ao atingir o máximo de iterações previsto. Caso tenham sido concluídas cinco iterações sucessivas sem melhoria do sucesso, regressar ao passo 1. Quando atingir dois terços do máximo de iterações, passa ao passo 3.

3º passo. Melhoria baseada em análise factorial

Uniformizar e analisar a relação linear (embora nada garantida que seja linear) entre as cinco variáveis de decisão e o sucesso. Dependendo do sinal da relação entre a variável e o sucesso, a próxima solução a ser testada terá os valores extremos de cada variável. Continuar no passo 2.

7.3.2. Resultados

A taxa de sucesso total dos terroristas ao longo das iterações é apresentada no interface da aplicação (figura 97). A figura 98 permite analisar a relação entre dimensões obtidas no final da heurística, representando o sucesso, custo da missão, quantidade de botes e dimensão da área de patrulha. Da análise visual resulta que o sucesso está diretamente relacionado com a quantidade de botes envolvida (observação já obtida anteriormente na experimentação de regras), mas depende ainda das características da área de patrulha, observando-se que a dimensão da área de patrulha tem quase a mesma importância do que o número de botes. Com 3 botes é já possível conseguir um elevado sucesso, quer com uma ou duas camadas, desde que o raio da área de patrulha não exceda as 800jj.

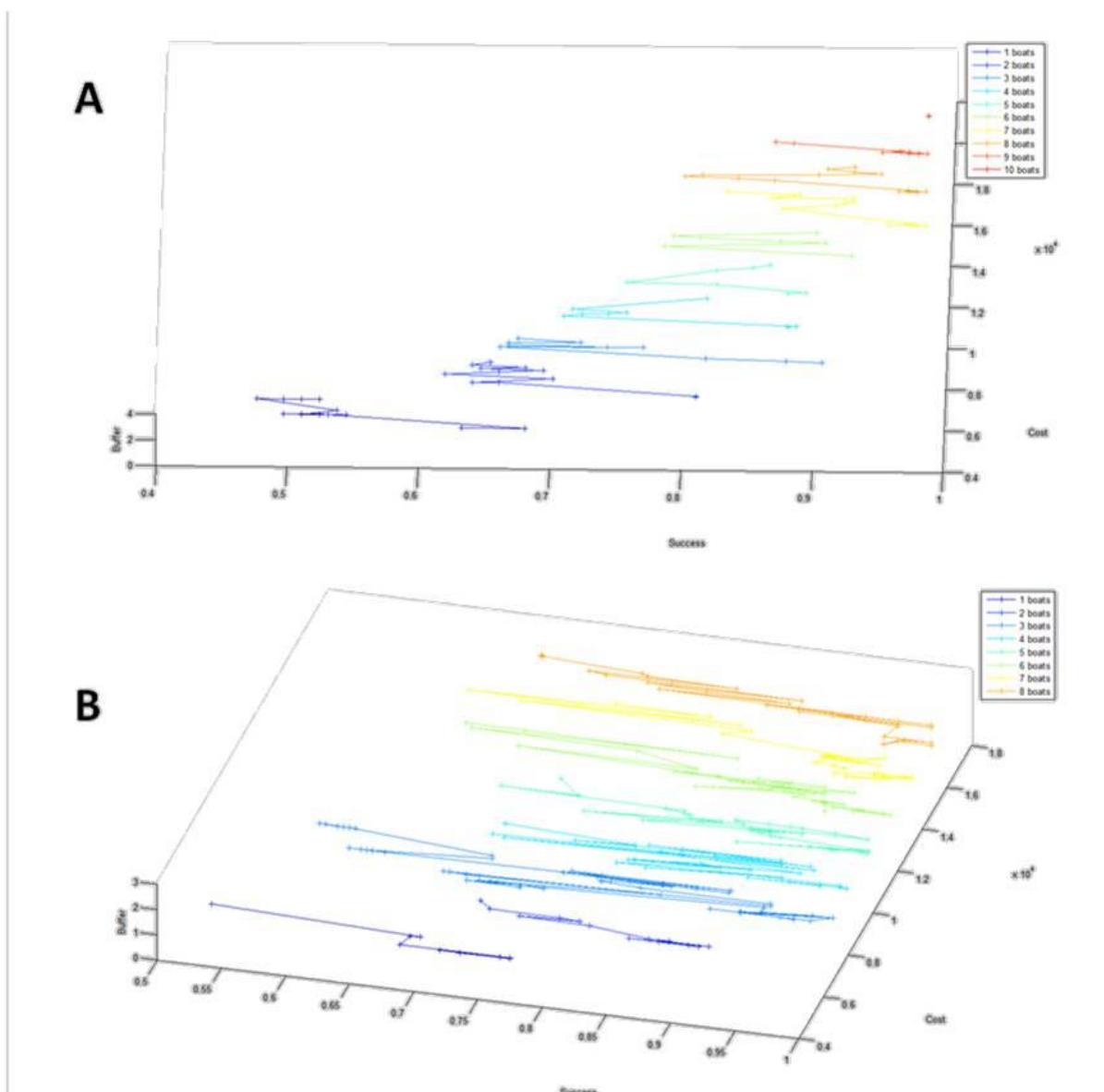


Figura 98. Resultado da heurística de melhoramento.

Cada solução representa a relação custo, sucesso e raio da área de patrulha. Imagem A, após 100 iterações. Imagem B, 3 conjuntos de 100 iterações, a cada uma correspondendo um novo conjunto de variáveis aleatórias

Com a obtenção do orçamento disponível pode agora ser selecionado o número de botes necessário e obtidos os parâmetros para desenho da área de patrulha. Recorrendo novamente ao simulador, introduzindo os parâmetros acima referidos, pode ser obtida a relação completa de pessoal e material, bem como os relatórios de percursos e atividades mais perigosas, para entrega ao comando tático. Estes resultados são visíveis na figura 99, resultantes de uma simulação onde foi usada a melhor solução em termos de seleção e colocação de sensores fixos, regras táticas para empenhamento de botes, quantidade de botes e parâmetros de desenho das áreas de patrulha total e individual. O custo deste dispositivo é de 9.000€ diários com uma expectativa de sucesso de 99%. Correndo diversas simulações com diferentes conjuntos de agentes será possível estimar um intervalo de confiança.

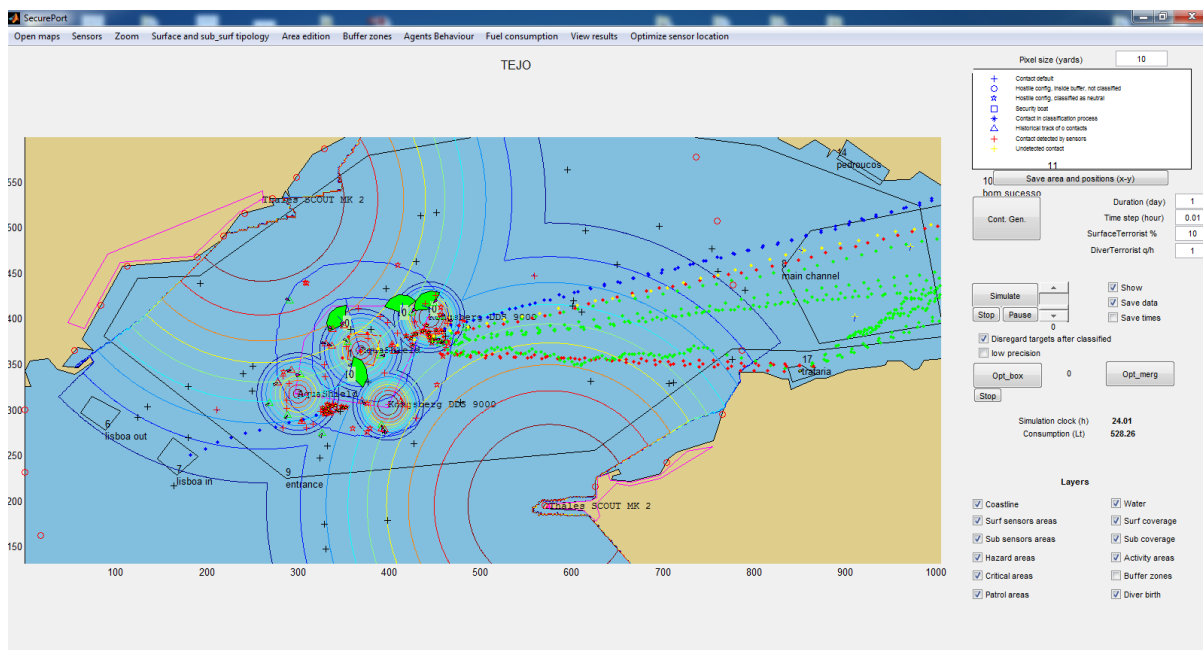


Figura 99. Resultado final de uma simulação.

Parâmetros das áreas de patrulha, cobertura de sensores e regras de atribuição de tarefas foram otimizados anteriormente.

7.4. CONTRIBUTOS

Como principais contributos neste capítulo destacamos:

- Conceção, desenvolvimento e implementação de um algoritmo de desenho individual de áreas de patrulha, em regiões confinadas;
- Conceção, desenvolvimento e implementação de modelos de atividades portuárias, com uso de áreas de nascimento, trabalho e morte;
- Conceção, desenvolvimento e implementação de algoritmo para navegação segura contínua;
- Conceção, desenvolvimento e implementação de algoritmo para minimizar o efeito do time step na deteção contínua de alvos;
- Conceção, desenvolvimento e implementação de simulador multiagente, incorporando as variáveis previstas no cenário complexo, matriz de decisão para esclarecimento de atividades, recebendo automaticamente resultados da otimização da cobertura fixa e das regras de empenhamento, com capacidade de ser guiado por heurística e fornecer resultados táticos e custos de operação;
- Conceção, desenvolvimento e implementação de heurística de otimização de parâmetros de áreas de patrulha, com ligação ao calculador de custos, apresentando a relação entre sucesso da operação e custo total do dispositivo instalado.

CAPÍTULO 8. CONCLUSÕES

8.1. RETROSPETIVA

O sistema de apoio à decisão proposto inicialmente pretendia apoiar todos os níveis de decisão envolvidos numa operação de segurança, desde a decisão da atribuição de fundos financeiros até ao controlo tático no terreno. A grande dificuldade da existência de tal sistema era a dificuldade de comunicação das várias ferramentas criadas, que permitisse a sua integração sem necessidade de especialistas diversos ou de novas ferramentas aplicacionais, tendo tal problemática sido abordada em Martins *et al.* [66]. A sequência de desenvolvimento seguida e a utilização de uma única linguagem de programação (MATLAB) evitaram ineficiências e dificuldades técnicas comuns em projetos congéneres, por exemplo no que se refere à adaptação a bases de dados ou à criação de interfaces. O produto final encontra-se integrado numa ferramenta única, denominada *SecurePort*.

Devido à multidisciplinaridade científica presente, foi essencial a colaboração de diversos especialistas da Marinha, de investigadores da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto e da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, bem como de diversos investigadores da aliança NATO contactados ao longo dos últimos sete anos. Estes contactos permitiriam não só colmatar lacunas como apontar direções e alternativas. O caminho percorrido permitiu assim o desenvolvimento faseado da ferramenta, embora amiúde fosse necessário regressar e alterar trabalho já desenvolvido, ou devido à identificação de novos requisitos operacionais ou por se terem recolhido opiniões de especialistas operacionais em matéria já tratada.

No capítulo 2, com base em equipas de especialistas e usando a metodologia GMA (General Morphological Analysis), foram desenvolvidos:

- Um cenário estratégico, limitando o universo de atuação;
- Um cenário operacional completo, considerando agentes e respetivos comportamentos;
- Um cenário operacional simples, para análise de relações entre agentes;
- Um modelo de decisão tático para empenhamento de sensores.

Estes cenários balizaram o desenvolvimento dos restantes capítulos. Devido à quantidade e complexidade das variáveis de decisão presentes no cenário operacional completo e das relações internas, decidiu-se analisar de forma independente a seleção e colocação de sensores, as regras de empenhamento dos agentes móveis e os custos da operação. A integração e análise detalhada do cenário completo foram efetuadas no final, resolvendo-se ainda pormenores de empenhamento tático de plataformas, não abordados anteriormente.

No capítulo 3 abordaram-se as regras de empenhamento de meios tripulados e não tripulados, com base num cenário operacional simples. Recorrendo a formatos geográficos simples, sem batimetria nem correntes, foram testados diversos conjuntos de regras de empenhamento face a diferentes comportamentos adversariais, tendo-se produzido:

- Uma ferramenta para teste e avaliação de doutrina no emprego de *plataformas aéreas e de superfície* em tarefas de *identificação* num ambiente portuário;
- Uma ferramenta para teste e avaliação de doutrina no emprego de *plataformas de superfície* em tarefas de *classificação* num ambiente portuário.

No capítulo 4 abordou-se o problema da seleção e localização de sensores. Para este problema foi necessário desenvolver ferramentas de informação geográfica, de modo a lidar com mapas digitais de terreno e representação geográfica de resultados. As ferramentas e interfaces produzidos e de seguida elencados foram depois usados no desenho e teste do sistema completo, *SecurePort*:

- Uma ferramenta de leitura de mapas digitais em formato comercial, e de extração e edição de polígonos de altitude e batimetria;
- Uma ferramenta de conversão de mapas vectoriais em mapas grade (formato *raster*), de grão variável;
- Uma interface de comunicação com o utilizador, para edição de variáveis, edição e remoção de polígonos, posições de sensores e texto;
- Uma ferramenta de desenvolvimento de camadas vectoriais e granuladas de informação, incluindo áreas de probabilidade de deteção e visibilidade.

Com base nos dados recolhidos e editados pelas facilidades aplicacionais referidas anteriormente, foram desenvolvidos de forma original:

- Um método de grade para obtenção de visibilidades ponto a ponto num ambiente 3D;
- Uma heurística *Greedy*, para obtenção de uma boa solução na localização de sensores;
- Uma heurística (“espiral descontinuada”), para a melhoria da solução *Greedy*;
- Uma adaptação das heurísticas anteriores em cenários onde seja possível aceder a informação recolhida através de sensores pré-instalados.

No capítulo 5 abordou-se o problema da obtenção rápida e semi-automática dos custos de operação, montagem e desmontagem de uma operação de proteção portuária. A política de sustentação e suporte logístico seguida é a aplicada na Marinha Portuguesa, sendo passível de alteração por parte do utilizador. Os custos utilizados são referentes a 2014, pelo que também carecem de atualização, possibilidade essa igualmente disponível ao utilizador. Como produto final do capítulo, fornece-se:

- Uma folha de cálculo fornecendo custos, quantidade e qualidade de pessoal, bem como custos, quantidade, qualidade, volume e peso de material a transportar para o local. Como variáveis independentes, a quantidade de botes, sensores, postos de observação e dias de operação.

Nos capítulos 6 e 7 desenvolveu-se o sistema de apoio à decisão *SecurePort*, aproveitando todos os conceitos, cenários, resultados e ferramentas desenvolvidos nos capítulos anteriores. Devido à extensão dos conceitos, ferramentas, modelos de dados, relatórios de resultados e interfaces produzidos, parte do trabalho foi remetido para apêndice ao corpo da tese. Os principais produtos destes capítulos foram:

- Um algoritmo de desenho individual de áreas de patrulha, em regiões confinadas;
- Implementação de métodos para interceção de alvos em movimento em duas dimensões;
- Algoritmos para buscas de mergulhador a partir de plataforma móvel dotada de sonar fixo;
- A modelação de atividades portuárias, com uso de áreas de nascimento, trabalho e morte;

- Um algoritmo para navegação segura contínua contornando obstáculos e utilizando informação geográfica vectorial;
- Um algoritmo para minimizar o efeito do *time step* na detecção contínua de alvos;
- Um simulador baseado em agentes, incorporando as variáveis previstas no cenário operacional completo, uma matriz de decisão para esclarecimento de atividades, recebendo automaticamente resultados da otimização da cobertura fixa e das regras de empenhamento, com capacidade de ser guiado de forma heurística e fornecer indicadores de desempenho tático e custos de operação;
- Uma heurística de otimização de parâmetros de áreas de patrulha, com ligação ao calculador de custos, apresentando a relação entre sucesso da operação e custo total do dispositivo instalado.

8.2. PERSPETIVA

8.2.1. Desenvolvimentos

Perspetivam-se os seguintes desenvolvimentos, a realizar num futuro próximo:

- Trabalhar individualmente os cenários propostos no capítulo 2, desenvolvendo novos requisitos de simulação;
- A otimização do dispositivo logístico em terra, obedecendo a regras de segurança. Esta facilidade permitiria selecionar o melhor local para instalação de todo o aparato de alojamentos, viaturas, combustíveis, munições, postos de controlo e vigilância para o lado terrestre, obedecendo a regras de higiene e segurança;
- A utilização de sensores terrestres móveis, devido à existência de viaturas com estas facilidades;
- A reconfiguração da capacidade fixa de detecção após se terem obtido os resultados da simulação usando plataformas móveis marítimas dotadas de sensores;
- A capacidade de dotar a área crítica de mobilidade. Esta facilidade permitiria analisar o melhor dispositivo a adotar ao longo do percurso desta área crítica, centrada numa plataforma móvel.

8.2.2. Campo de aplicação

O presente trabalho integra as vantagens da simulação multiagente em ambiente quase real (comportamentos derivados de entrevistas, ações baseadas em táticas reais, configuração de terreno obtido de mapa digital, curvas de detecção não lineares) com as vantagens das heurísticas, capazes de encontrar boas soluções a partir da manipulação de variáveis de decisão. A facilidade de representar quer os movimentos em contínuo quer os resultados de cada solução permite ao utilizador aperceber-se dos efeitos de diferentes variáveis independentes, algumas delas não manipuladas pelas heurísticas, como a configuração geométrica da costa. O utilizador pode assim optar por colocar barreiras físicas ou restringir movimentos de forma a conseguir obter taticamente os melhores resultados com o dispositivo disponível.

Para além da intenção inicial de promover uma metodologia de apoio à decisão para a defesa portuária contra ataques terroristas, as ferramentas desenvolvidas adaptam-se igualmente a outros cenários, como os da monitorização quer de fronteiras marítimas quer de áreas marítimas sobre jurisdição nacional, na execução de tarefas que vão do controlo de migração à busca e salvamento. Na grande maioria das situações, são tarefas desempenhadas por poucas pessoas, devido aos constantes constrangimentos financeiros, envolvendo vastas áreas marítimas, agentes cuja atuação

nem sempre é a esperada ou a mais favorável e um largo conjunto de sensores cujos dados nem sempre são devidamente correlacionados.

8.2.3. Ensino

Não existem atualmente ofertas de ensino na área de sistemas de apoio à decisão especificamente orientados para o conhecimento situacional marítimo, a nível 5, 6 ou 7 (*technology readiness levels*), estando atualmente a FRONTEX¹⁶ a levantar junto de Estados Membros essa necessidade. No âmbito desta agência foram definidas as 12 tarefas a desenvolver pelas guardas costeiras de todos os países da união europeia, Portugal incluído, estando disponíveis no fórum ECGFF¹⁷.

Para todas as tarefas elencadas, qualquer uma das ferramentas desenvolvidas permite quer o seu uso quer a sua adaptação ou extensão por alunos dotados de conhecimentos consolidados de programação, geografia e investigação operacional, permitindo-lhes depois a partir dos centros de comando dos seus países otimizar meios e rentabilizar o orçamento operacional disponível. O currículo atualmente em estudo para tais acções de formação futuras inclui módulos de GMA, desenvolvimento de sistemas de informação geográfica, heurísticas de localização sobre plataforma geográfica e simulação multiagente.

¹⁶ FRONTEX – *European Agency for the Management of Operational Cooperation at the External Borders of the Member States of the European Union*, www.frontex.europa.eu.

¹⁷ ECGFF – *European Coast Guard Functions Forum*, www.ecgff.eu/mission-tasks.

REFERÊNCIAS

- [1] Administração do Porto de Lisboa, www.portodelisboa.pt.
- [2] Alkyol DE., Bayhan GM. - A review on evolution of production scheduling with neural networks. *Computers & Industrial Engineering* 53 (2007), pp 95-122.
- [3] Autoridade Marítima Nacional, www.amn.pt.
- [4] Autoridade Nacional de Proteção Civil - *Avaliação Nacional de Risco* (2014).
- [5] Banks J., Carson II J., Nelson B., Nicol D. - *Discrete-Event System Simulation*, 5th Ed.. Pearson (2010), pp. 3-21.
- [6] Beck J., Prosser P., Selensky E. - Vehicle routing and job shop scheduling: What's the difference? *ICAPS'03 - The 13th International Conference on Automated Planning & Scheduling* (2003), pp. 267-276.
- [7] Bednowitz N., Batta R., Nagi R. - Dispatching and loitering policies for unmanned aerial vehicles under dynamically arriving multiple priority targets. *Journal of Simulation*, 8 (2014), pp. 9-24.
- [8] Box G., Draper N. - Introduction to Response Surface Methodology. In *Response Surfaces, Mixtures and Ridge Analyses, Second edition* Ch. 1, John Wiley & Sons, (2007).
- [9] Buzuku S., Kraslawski A., Harmaa K. - Supplementing morphological analysis with a design structure matrix for policy formulation in a wastewater treatment plant. *The 17th International DSM Conference, Methods and Complexity Management* (2015), pp 09-18.
- [10] Caiti A., Munafò A., Vettori G. - A geographical information system (GIS) – based simulation tool to assess civilian harbor protection levels, *IEEE Journal of Oceanic Engineering*, 37:1 (2012), pp 85-102.
- [11] Çalis B., Bulkan S. - A research survey: review of AI solution strategies of job shop scheduling problem. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 26:5 (2015), pp 961-973.
- [12] Capitania do Porto de Lisboa, Edital 151/2011 de 31 de janeiro, DR 2ª série nº 29 de 10 de fevereiro (2011).
- [13] Chen J., Wu C.C., Chen C.W., Chen K.H. - Flexible job shop scheduling with parallel machines using genetic algorithm and grouping genetic algorithm. *Journal Expert Systems with Applications*, 39:11 (2012).
- [14] Chen K., Har-Peled S. - The orienteering problem in the plane revisited. *SCG'06 - The 22nd Annual Symposium on Computational Geometry* (2006), pp. 247-254.
- [15] Chua C., Choo C., Sim W., Tay V. - Automated red teaming: an objective-based data farming approach for red teaming. *The 2008 Winter Simulation Conference* (2008), pp 1456-1462.
- [16] Côrte-Real F. - *Caderno de Provas para Avaliação de Sensores Eletro-óticos em Ambiente de Defesa Portuária*. Tese de Mestrado, Escola Naval (2013).
- [17] European Commission - *Risk Assessment and Mapping Guidelines for Disaster Management*. Brussels (2010).
- [18] Cura T. - An artificial bee colony algorithm approach for the team orienteering problem with time windows. *Journal Computers and Industrial Engineering* 74 (2014), pp. 270-290.
- [19] Dantzig G., Ramser J. - The truck dispatching problem. *Management Science* 6:1 (1959) pp 80-91.
- [20] De Wall A., Ritchey T. - Combining morphological analysis and Bayesian networks to strategic decision support. *ORION* 23:2 (2007), pp 105-121.

- [21] Decreane J., Lee Y.T., Zeng F., Chandramohan M., Cheng Y.Y., Low M. - Evolutionary design of agent-based simulation experiments, *AAMAS'11 - The 10th International Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems*, 3:1 (2011), pp 1321-1322.
- [22] Decreane J., Zeng F., Low M., Zhou S., Cai W. - Research advances in automated red teaming. *SPRINGSIM'10 - The 2010 Spring Simulation Multiconference*, Article 47 (2010).
- [23] Diário da República Eletrónico, *Resolução do Conselho de Ministros nº 7-A/2015, de 20 de fevereiro*, dre.pt/application/file/66567311
- [24] Diedrichsen L. - Command & control: Operational requirements and system implementation. *Information & Security*, 5 (2000), pp. 23-40.
- [25] Dijk N., Sluis E., Haijema R., Al-Ibrahim A., Wal J. - Simulation and Operations Research in combination for practical optimization. *In 37th Winter Simulation Conference* (2005), pp.274-284.
- [26] DNV Consulting - *Study on the Impact of Possible European Legislation to Improve Transport Security. Final Report: Impact Assessment* (2005).
- [27] Docapesca, www.docapesca.pt/pt/rede-lotas-e-postos-vendagem.html
- [28] Duckzinski G., Jablonski J., Huddleston S. - Sustainability of the Afghan security forces: a wicked problem. *Counter Terrorism Exchange*, 5:1 (2015).
- [29] Eppinger S., Browning, T. - *Design Structure Matrix Methods and Applications*. The MIT Press Ch. 1 (2012), pp 1-14.
- [30] Evers L., Barros A., Monsuur H., Wagelmans A. - Online stochastic UAV mission planning with time windows and time-sensitive targets. *European Journal of Operational Research* 238 (2014), pp. 348-362.
- [31] Evers L., Barros A., Monsuur H., Wagelmans A. - UAV mission planning: from robust to agile. *Military Logistics*, Ch 1, Springer (2014), pp. 1-17.
- [32] Fabbri T., Nardi S., Isgró L., Pallottino L., Caiti A. - Assessing the potential of autonomous multi-agent surveillance in asset protection from underwater threats. *In International Workshop on Modelling and Simulation for Autonomous Systems*. Springer International Publishing, 2016, pp. 204-213.
- [33] Fernandes J. - *Qual o Custo Financeiro da Projeção de uma Força NATO para Defesa Portuária Contra Ataques Terroristas*. Tese de Mestrado, Escola Naval (2013).
- [34] Ferreira M. - *Operação de Veículos Aéreos Não Tripulados em Ambiente Marítimo*. Tese de Mestrado, Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, (2015).
- [35] Garcia, S., Marin, A. - Covering Location Problems. *In Location Science*, Springer International Publishing Switzerland (2015), ch5, pp 93-114
- [36] Gavalas D., Konstantopoulos C., Mastakas K. - A survey on algorithmic approaches for solving tourist trip design problems. *Journal of Heuristics* 20:3 (2014) pp. 291-328.
- [37] Geyik F., Cedimoglu I.H. - The strategies and parameters of tabu search for job-shop scheduling. *Journal of Intelligent Manufacturing* 15:4 (2004) pp 439-448.
- [38] Ghiani G., Guerriero F., Laporte G., Musmanno R. - Real-time vehicle routing: Solution concepts, algorithms and parallel computing strategies. *European Journal of Operational Research* 151, (2003) pp 1-11.
- [39] Godet M. - *From Anticipation to Action – A Handbook of Strategic Prospective*. UNESCO, Paris, (1994).
- [40] Goldberg H. - Jackson's conjecture on earliest due date scheduling. *Mathematics of Operations Research* 5:3 (1980), pp 460-466.

- [41] Gouvêa L. - *Interceptação de Alvos Móveis em Ambiente com Obstáculos Poligonais Bidimensionais*. Tese de Doutorado, Universidade Federal do Rio de Janeiro (2012).
- [42] Harper S. - *Submarine Operations During the Falklands War*. Pickle Partners Publishing, (2014).
- [43] Hart E., Ross P., Corne D. - Evolutionary scheduling: A review. *Genetic Programming and Evolvable Machines* 6 (2005), pp 191-220.
- [44] Harvey A., Mullan C., Schwartz A., Magyarits S. - *Best Practices in the Development in Simulation Scenarios for Validation Activities in Fast and Real-time Simulation*. Second Federal Aviation Administration (FAA)/EUROCONTROL Action Plan 5, Validation and Verification Strategy Workshop, Rome (2003).
- [45] He W., Sun Dh. - Scheduling flexible job shop problem subject to machine breakdown with route changing and right shift strategies. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 66:1 (2013), pp 501-514.
- [46] HPX 15 – Exercício NATO de Proteção Portuária, Portimão, Portugal (2015), disponível em www.marinha.pt/pt-pt/media-center/noticias-destaques/Paginas/NATO-treina-protecao-portuaria-em-Portugal.aspx
- [47] Horne G., Seichter S. - *Data Farming Support to NATO: A summary of MSG-088 Work*. MSG-088 Program of Work, NATO Research and Technology Office (RTO) (2013).
- [48] INFORMS, www.informs.org/Explore/History-of-O.R.-Excellence/O.R.-Methodologies
- [49] International Harbour Masters Association, *Port Information Guide – Port of Lisbon*, www.harbourmaster.nl/countries/portugal/lisbon.html
- [50] International Maritime Organization - *ISPS code* - 2003 Edition, London (2003).
- [51] International Maritime Organization - *IAMSAR MANUAL VOLUME III, Mobile Facilities*, IMO publishing, London (2013).
- [52] Jensen F., Nielsen T. - *Bayesian Networks and Decision Graphs*, 2nd ed.. Springer-Verlag, New-York (2007).
- [53] Kalliopi K., Kyriazis P., - SYNER-G: Typology definition and fragility functions for physical elements at seismic risk. In *Fragility Functions of Harbor Elements*, Ch 11, Springer New York (2014), pp 327-356.
- [54] Kantor M., Rosewein M. - The orienteering problem with time windows. *Journal of the Operational Research Society*, 43:6 (1992), pp. 629-635.
- [55] Kessel R. – *NATO Harbour Protection Table-Top Exercise (HPT2E): Final Report*. NATO memorandum Report CMRE-MR-2013-004, La Spezia (2013).
- [56] Kessel R., Hollet R. - Underwater intruder detection sonar for harbor protection: state of the art review and implications. *TEHOSS2006 - The 2nd IEEE International Conference on Technologies for Homeland Security and Safety* (2006), pp 137-144A.
- [57] Kleijnen J. - Design and analysis of computational experiments: Overview. In *Experimental Methods for the Analysis of Optimization Algorithms*, Ch. 3. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, (2010).
- [58] Koretsky G., Nicoll J., Taylor M. - *A Tutorial on Electro-Optical/Infrared (EO/IR) Theory and Systems*. Institute for Defense Analyses, report IDA Document D-4642 (2013).
- [59] Kudrin, A., Zaporozhets A.I., Kachanov S.A. - Organizational measures and decision support systems for preventing and responding to terrorist acts at potentially hazardous facilities, on transportation systems and in locations where large number of people congregate. In:

- Countering Terrorism, Summary of a U.S.-Russian Workshop*, ch 6, National Academies Press, Washington D.C. (2009).
- [60] Larco J., Dekker R., Kaymak U. - *Coverage-based Service Vehicle Routing when only some Tasks are Known in Advance*. Pontificia Universidad Católica del Perú, CENTRUM Working Paper Series, nº 2012-09-0011 (2012).
- [61] Leifler O. - *Affordances and Constraints of Intelligence Decision Support for Military Command and Control- Three Case Studies of Support Systems*. Linköping Studies in Science and Technology, dissertation 1381, Linköping, Sweden (2011).
- [62] Lenstra J., Kan R., Brucker P. - Complexity of machine scheduling problems. *Annals of Discrete Mathematics* 4 (1977), pp 121-140.
- [63] Makhutov N.A., Petrov V.P., Reznikov D.O. - Characteristics of technological terrorism scenarios and impact factors. In *Countering Terrorism, Summary of a U.S.-Russian Workshop*, Ch. 7, National Academies Press, Washington D.C. USA (2009), pp 53-69.
- [64] Marinha Portuguesa, www.marinha.pt
- [65] Maritime Safety Office - *World Port Index*, 25th edition. National Geospatial Agency, Springfield Virginia (2016).
- [66] Martins, J., Casimiro, R., Gonçalves, S., Calado, J., Manso, M., Lopes, J., Rodrigues, A., Captivo, M., Freitas, J., Abreu, M., Gomçaves, G., Sousa, J., Bezzeghoud, M., Salgado, R. - The SAFE-PORT Project: An approach to port surveillance and protection. In *Proceedings of WSS 2010 – 2nd International Conference on Waterside Security*, IEEE(2010), pp 1-9 DOI:10.1109/WSSC.2010.5730261
- [67] Martins J., Rodrigues A. - Comparing dispatching heuristics in harbour protection problems using an agent-based simulator. In *Proceedings of the 9th NATO Operations Research and Analysis Conference* (2015), NATO-STO (2016). DOI:10.14339/MP-SAS-OCS-ORA-2015-18-doc.
- [68] Moffat J., Witty S. - Bayesian decision making and military command and control. *Journal of the Operational Research Society*, 53 (2002), pp.709-718.
- [69] NATO – *Heads of State and Government Strengthen NATO's Anti-terrorism Efforts*, www.nato.int/docu/update/2004/06-june/e0629e.htm
- [70] NATO RTO - *NATO Code of Best Practice for Command and Control Assessment*. RTO Technical Report TR-081, SAS-026, Brussels (2004).
- [71] Naval History and Heritage Command - *Terrorist Attack on USS Cole: Background and Issues for Congress*. Disponível em <https://www.history.navy.mil/research/library/online-reading-room/title-list-alphabetically/t/terrorist-attack-on-uss-cole-background-and-issues-for-congress.html>
- [72] Nichols J., Hines J., Nichols J. - Selecting among competing models of electro-optic, infrared camera system range performance. In *Optical Engineering* 52:11 (2013).
- [73] Ochoa A., Hernández A., Cruz L., Ponce J., Montes F., Li L., Janacek L. - Artificial societies and social simulation using ant colony, particle swarm optimization and cultural algorithms. In *New Achievements in Evolutionary Computation*, Peter Korosec (ed.), Ch. 13. InTech, (2010).
- [74] Ollero A., Marron P., Bernard M., Lepley J. - AWARE: platform for autonomous self-deploying and operation of wireless sensor-actuator networks cooperating with unmanned Aerial vehicles. *IEEE International Workshop on Safety, Security and Rescue Robotics* (2007).
- [75] Ösgüven C., Özbakir L., Yavuz Y. - Mathematical models for job shop scheduling problems with routing and process plan flexibility. *Applied Mathematical Modeling* 34:6 (2010), pp 1539-1548.

- [76] Osmer S., Nash L., Hover G., Mazour T. - *Coast Guard Surface Vessel Radar Detection Performance*. Department of Transportation, U.S. Coast Guard, IR USCG R&DC 4/82 (1982).
- [77] Pagonis W., Cruikshank J. - *Moving Mountains: Lessons in Leadership and Logistics from the Gulf War*. Harvard Business Review Press (1992).
- [78] Panwalkar S., Iskander W. - A survey of scheduling rules. *Operations Research* 25:1, (1977). pp 45-61.
- [79] Parfomak P., Fritelli J. - *Maritime Security: Potential Terrorist Attacks and Protection Priorities*. Congressional Research Services, USA (2007).
- [80] Pillac V., Gendreau M., Guéret C., Medaglia A. - *A Review of Dynamic Vehicle Routing Problems*. Working paper, CIRRELT, University of Montreal (2011).
- [81] Raczynski S. - Simulation of the dynamic interactions between terror and anti-terror organizational structures. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation* 7:2 (2004).
- [82] Rader K. - *Forward ... From the Sea into the Torpedo Danger Zone, Blue Water ASW Doctrine in Shallow Water*. School of Advanced Military Studies, U.S. Army Command and General Staff College, Fort Leavenworth, Kansas (1995).
- [83] Ranjeet T., Hingstion P., Lam C., Masek M. - Analysis of key installation protection using computerized red teaming. *ACSC'11 - The 34th Australasian Computer Science Conference*, Vol 113 (2011), pp 137-144.
- [84] Reber D. - *Optimized Routing of Unmanned Aerial Systems for the Interdiction of Improvised Explosive Devices*. Master thesis, Naval Postgraduate School, Monterey California USA (2007).
- [85] Reeb J., Leavengood S. - *Simulating a Manufacturing System: An Introduction*. Oregon State University, Operations Research, EM 8837-E (2003).
- [86] Revelle C. - Extension and prediction in emergency service sitting models. *European Journal of Operational Research*, 40:1 (1989), pp. 58-69.
- [87] Rhyne R. - *Evaluating Alternative Indonesian Sea-sovereignty Systems: An Exercise in Soft Technology Transfer*. Institute for Operations Research and the Management Sciences, 1995.
- [88] Ritchey T. - Analysis and synthesis: On scientific method-based on a study by Bernhard Riemann. *Systems Research and Behavioral Science*, 8:4, Thesis Publishers (1991), pp 21-41.
- [89] Ritchey T. - Developing scenario laboratories with computer-aided morphological analysis. *14th International Command and Control Research and Technology Symposium*, Washington DC (2009).
- [90] Ritchey T. - Four models about decision support modeling. *Acta Morphologica Generalis*, 3:1 (2014).
- [91] Ritchey T. - Fritz Zwicky. Morphologie and policy analysis. *16th EURO Conference on Operational Analysis* (1998).
- [92] Ritchey T. - Outline for morphology of modeling methods: Contribution to a general theory of modeling. *Acta Morphologica Generalis*, 1:1 (2012).
- [93] Ritchey T. - Principles of cross-consistency assessment in morphological modeling. *Acta Morphologica Generalis*, 4:2 (2015).
- [94] Ritchey T. - Problem structuring using computer-aided morphological analysis. *Journal of the Operational Research Society*, 57 (2006), pp 792-901.
- [95] Ritchey T. - Strategic decision support using computerized morphological analysis. *9th International Command and Control Research and Technology Symposium* (2004).
- [96] Ritchey T. - *Wicked Problems - Social Messes: Decision Support Modeling with Morphological Analysis*, Springer-Verlag Berlin (2011), pp 8-9.

- [97] Robinson S. - *Simulation: The Practice of Model Development and Use*, John Wiley & Sons, Chichester England (2004).
- [98] Ruhe W. - *Submarine Lessons. Military Lessons of the Falklands Islands War: Views from the United States*, Westview Press (1984).
- [99] Schubert J., Johansson R., Horling, P. - Skewed distribution analysis in simulation-based operation planning. NATO-STO MP-SAS-OCS-ORA-2015-05 (2016).
- [100] Seagriff T., Lord S. - Soft Operational Research techniques: Current and future uses. *YoungOR* 17 (2011), pp 31-56.
- [101] Shannon, R. - Introduction to the art and science of simulation. *Winter Simulation Conference* (1998), pp. 7-14.
- [102] Shen X., Zhang M., Fu J. - Multi-objective dynamic job shop scheduling: a survey and prospects. *International Journal of Innovative Computing, Information and Control* 10:6 (2014).
- [103] Sikandar R.I. - *Analysis of Protection Measures for Naval Vessels Berthed at Harbor Against Terrorist Attacks*. Master dissertation, Naval Postgraduate School, Monterey, California, 2016.
- [104] Silver E. - An overview of heuristic solution methods. *Journal of the Operational Research Society*, 55 (2004), pp. 936-956.
- [105] Silver E., Vidal R., Werra D. - A tutorial on heuristic methods. *European Journal of Operational Research*, 5 (1980), pp. 153-162.
- [106] Simetti E., Turetta A., Casalino G., Cresta M. - Towards the use of a team of USVs for civilian harbour protection: The problem of intercepting detected menaces. In *OCEANS 2010 IEEE-Sydney*. IEEE (2010), pp.1-7.
- [107] Surekha P., Raajan PRAM., Sumathi S. - Planning, scheduling and otimizing job shop scheduling problem using genetic algorithm. *Artificial Intelligence Systems and Machine Learning*, 3:1 (2011), pp 68-73.
- [108] Transtejo, www.transtejo.pt/terminais-e-frota/terminais-e-estacoes/
- [109] Tritten J. - *Naval Doctrine... From the Sea*. Naval Doctrine Command, Norfolk, Virginia (1994).
- [110] US Navy – *Naval Command and Control*. Naval Doctrine Publication 6, Washington (1995).
- [111] Vansteenwegen P., Souffriau W., Oudheusden D. Van - The orienteering problem: A survey. *European Journal of Operational Research*, 209 (2011), pp 1-10.
- [112] Wang, B. – *Coverage Control in Sensors Networks*. Springer New York (2010)
- [113] Woolsey R., Swanson H. - *Operations Research for Immediate Application: A Quick and Dirty Manual*. Harpercollins (1975).
- [114] World Port Source, *World Ports by Country*, www.worldportsource.com/countries.php
- [115] Yahja A. - *Simulation Validation for Societal Systems*. Doctor of Philosophy Thesis, School of Computer Science, Institute for Software Research International, Carnegie Mellon University, Pittsburgh (2006).
- [116] Zhang L., Li X., Wen L., Zhang G. - Scheduling flexible job shop in dynamic environment based on a mimetic algorithm. *IEEE 11th International Conference on Cognitive Informatics & Cognitive Computing* (2012), pp 407-412.
- [117] Zwicky F. - *Discovery, Invention, Research-Through the Morphological Approach*. Macmillan Company, Toronto (1969).
- [118] Zwicky F., Wilson A. - *New Methods of Thought and Procedure: Contributions to the Symposium on Methodologies*. Springer-Verlag, New York (1967).

APÊNDICE A – MODELOS E INTERFACES

A1 MODELAÇÃO DA ATIVIDADE DO PORTO DE LISBOA

Num ambiente portuário complexo, sucedem em simultâneo no mesmo espaço molhado diversas atividades com objetivos diferentes. Tomando como exemplo o Porto de Lisboa, consultando o edital da Capitania (Edital 151/2011) [12] e o portal da APL (Administração do Porto de Lisboa) [1], foi identificada a existência de pesca local, recreio, transporte de passageiros, navegação mercante e tráfego local com fins logísticos.

- **Pesca local.** A pesca local é exercida pelas populações na margem do rio e estuário, sendo consideradas como primordiais a pesca profissional de bivalves por ganchorra (arte de arrasto), a pesca profissional de bivalves por draga manual (mergulho) e a pesca recreativa por linha.
- **Recreio local.** A navegação de recreio, exercida pelas populações da grande Lisboa, compreende vela, remo e motor.
- **Transporte de passageiros locais.** Efetuam transporte de passageiros locais, com horários pré-determinados, entre diversos locais das duas margens, operando entre as 06.30 e as 23.00.
- **Navegação mercante internacional ou de cabotagem.** Engloba toda a navegação que aporta ao porto de Lisboa, dirigindo-se quer para um dos dezoitos locais de atracação previstos quer para zonas de fundeadouros previamente definidas. A única atividade exercida no rio é o trânsito direto entre locais, respeitando a sinalização dos canais de navegação, quando estabelecidos. Devido às elevadas taxas portuárias, utilizam as horas normais de serviço (09.00-17.00) para evitar o pagamento de horas extraordinárias a pilotos e a pessoal de terra. Navegam à velocidade máxima autorizada no porto, com dimensões por norma superiores a 100m de comprimento. Com sistemas de pilotagem muito evoluídos, conseguem manter rumo e velocidade praticamente inalterados durante o trânsito. Devido à sua elevada dimensão, provocam grandes zonas de sombra para sensores ativos e passivos, além de elevado ruído ambiente (esteiras provocadas pelos hélices e deslocamento).
- **Tráfego local.** Engloba toda a navegação local de pequeno porte não incluída anteriormente, tais como rebocadores, dragas, barcas, táxis. De um modo geral, trabalham em apoio da navegação mercante, pelo que operam maioritariamente entre as 09.00 e as 17.00. Por norma têm dimensões superiores a 15 metros, navegando à velocidade máxima autorizada no porto, com a exceção das dragas, que navegam a velocidades inferiores a 1nó, enquanto envolvidas em operações de dragagem.

A2 CARREGAMENTO E EDIÇÃO DE MAPAS

A ferramenta ilustrada na figura A1, permite o carregamento e edição de variáveis bem como produz informação necessária para o simulador, otimizador de sensores e experimentador. Foi desenvolvida uma ferramenta de importação, edição e manipulação de polígonos bem como para produção de mapas *raster* e iniciação das variáveis do simulador, descrevendo-se as suas facilidades.

- **Carregamento de dados geográficos.** Matriz $2 \times n$, contendo os n vértices do polígono geográfico em coluna, sendo a primeira linha para latitudes e a segunda para longitudes. Polígonos fechados são separados por NAN. Estes polígonos podem ser obtidos a partir de qualquer ficheiro de dados tipo *shapefile*, dispondo a linguagem MATLAB de funções próprias para extração de informação geográfica, designadamente *shaperead* e *extractfield*. Cada polígono geográfico

contém pontos à mesma altitude, permitindo o desenho de curvas isométricas. Para o presente estudo recorreu-se à carta de navegação nº10, produzida pelo Instituto Hidrográfico, em formato *shapefile*, a qual contém a linha de costa e todos os rios navegáveis.

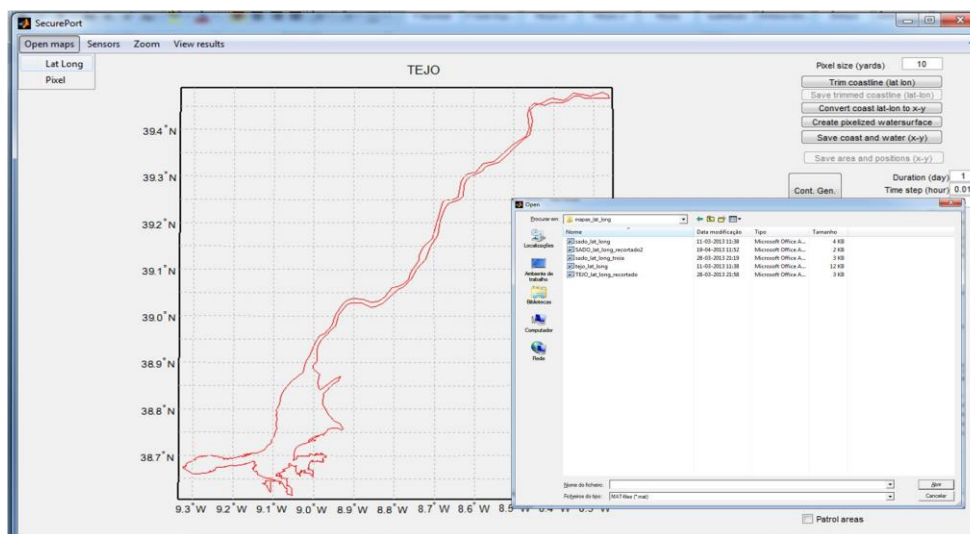


Figura A1. Ferramenta para leitura e edição de mapas

- **Carregamento da granularidade.** Através de janela de introdução manual é pedido ao utilizador que defina a granularidade (*pixel size*) em jardas, essencial para a criação de mapas *raster*. Cada pixel irá conter informação vária relativa a uma área quadrada com o lado definido pelo *pixel size*, ou grão.
- **Edição de polígonos.** No interface apresentado na figura A1, atuando em *trim coastline (lat lon)*, obtém-se a capacidade de editar os pontos do polígono extraído da carta digital.
- **Conversão de latitudes (lat) longitudes (lon) em coordenadas x,y.** Atuando em *convert coast lat lon to x-y*, a ferramenta utiliza a informação do grão e a matriz de polígonos latitude-longitude para produzir uma matriz de polígonos x-y. Como dados de saída, para além da matriz x-y, é igualmente guardada a matriz de conversão, para que, em fases posteriores, se consiga converter posições x-y em posições latitude-longitude. Um mapa de latitudes e longitudes tem no seu canto inferior esquerdo, a menor latitude (a latitude varia entre +90º, no polo norte e -90º no polo sul, tendo o valor 0º no equador) e a menor longitude (a longitude tem o valor 0 no meridiano de Greenwich, varia até +180º para leste e -180 para oeste). As dimensões do mapa são dadas em jardas de latitude (eixo vertical), ou β_{lat} e jardas de longitude (eixo horizontal), ou β_{lon} . Com a conversão para x,y, o mapa terá o valor 0,0 no canto inferior esquerdo. O eixo vertical y terá a dimensão $\lceil (\beta_{lat}/\text{grão}) \rceil$ e o eixo horizontal x terá a dimensão $\lceil (\beta_{lon} \cdot \cos(\text{latitude média})/\text{grão}) \rceil$. O mapa assim obtido terá as dimensões inteiras β_y por β_x .
- **Criação de mapa *raster* para a superfície líquida.** Para o desenvolvimento do simulador foi assumido um grão (ou pixel) de 10jj, por ser essa a dimensão média das embarcações de interesse (pequenas embarcações que podem ser usadas por terroristas). Com esta medida não se perde informação relevante com a digitalização do mundo real. Atuando em *create pixelized watersurface*, a ferramenta utiliza a função “poly2mask” para criar uma matriz bi-dimensional, com β_y linhas e β_x colunas. Na célula (1,1) terá a informação da posição (0, β_y). Cada célula passará a conter a informação relevante do quadrado geográfico cuja posição central é obtida a partir dos índices de entrada da matriz, tendo o quadrado um grão de lado. Utilizando o polígono

da linha de altura média do mar como dado de entrada da função “poly2mask”, o mapa *raster* de saída tem o valor 1 nas células que se encontram no interior do polígono e o valor 0 nas restantes. Este mapa será a base de todos os restantes usados na simulação, para indicação de correntes (mapas de correntes), para representação de elevações do terreno (mapas topográficos) e para representação de probabilidades de deteção pelos sensores (mapas de cobertura).

- **Iniciação de variáveis.** Atuando em *save coast and water (x-y)*, a ferramenta guarda em ficheiro toda a informação geográfica necessária para o simulador e para o otimizador de sensores.

A3 INTERFACE DO SIMULADOR COMPLETO

O interface do simulador, figura A2, permite abrir os ficheiros produzidos pelo editor de informação geográfica, visualizar mapas com função de *zoom*, carregar todos os dados de introdução manual necessários para o otimizador de sensores, simulador e experimentador de soluções, visualizar resultados da simulação, definir os parâmetros da geração de contactos e da simulação, criar e editar todas as áreas necessárias, com recurso a ferramentas de criação e edição de mapas, visualizar por camadas a linha de costa, a superfície líquida, as áreas de possível implantação de sensores de superfície e submersos, os locais onde os sensores se encontram, as áreas críticas, as áreas de atividade, as áreas de classificação, as áreas de patrulha e as áreas que constituem obstrução à navegação.

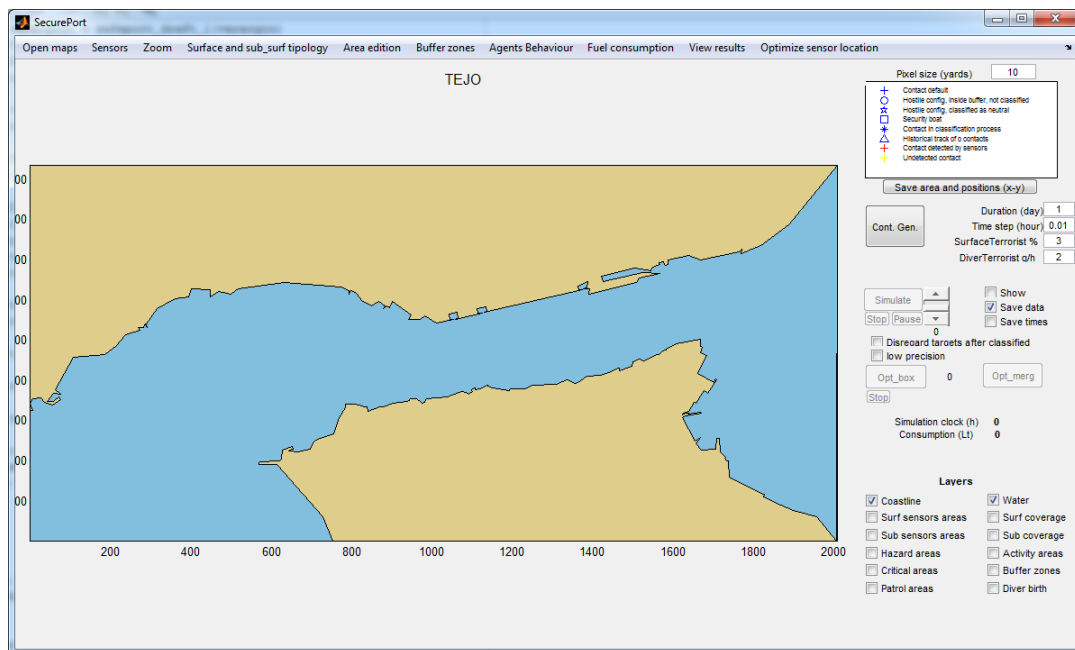


Figura A2. Interface do simulador completo

Carregamento de características de sensores. A partir da opção *sensors* acede-se à facilidade de carregamento de sensores e respetivas características, essenciais para a otimização de sensores. Havendo entradas separadas para radares, sonares e sistemas óticos, para cada sensor é requerido:

- Descrição completa do sensor, com indicação, caso possível, da temperatura ambiente média durante a leitura dos dados reais ou a temperatura usada na equação teórica;
- O tipo de curva que melhor se aproxima da curva de probabilidade de deteção acumulada;
- O alcance máximo do sensor, para um determinado alvo (distância a partir da qual a probabilidade de deteção instantânea é inferior a 5%);

- O tipo de alvo considerado, sendo obrigatórios os correspondentes a embarcações de madeira ou fibra com 10jj de comprimento e a mergulhadores à superfície;
- Quantidade de sensores disponíveis para uso, fornecidos pelas nações aliadas

Carregamento de tipologia de embarcações. Para o carregamento da tipologia da navegação, é solicitado ao utilizador que:

- Atribua uma descrição de cada tipo de embarcação e mergulhador;
- Defina a velocidade máxima esperada desse tipo de embarcação ou mergulhador;
- Defina a velocidade de cruzeiro no porto. Deve ser aqui indicada a velocidade máxima autorizada no porto, caso exista e caso seja inferior à velocidade máxima da embarcação;
- Defina a velocidade usada na atividade. Para embarcações ou navios em trânsito, deve ser idêntica à velocidade de cruzeiro;
- Defina a duração do trabalho diário;
- Defina a possibilidade de ser usada ou não por terroristas. Algumas embarcações de pequeno porte podem ter um controlo apertado de saídas, pelo que à partida estão excluídas do uso por terroristas

O interface é usado para a definição de características da navegação local e das embarcações do dispositivo de segurança, sendo que estas têm obrigatoriamente de ser as últimas a ser definidas.

A4 EDIÇÃO MANUAL DE POLÍGONOS E SENSORES

A informação geográfica recolhida das cartas digitais não contém dados relativos a sensores fixos, pelos que estes terão de ser introduzidos manualmente. A edição de áreas ou localização manual de sensores é iniciada com um clique do rato sobre o mapa apresentado. Surge então um interface, com a indicação da posição selecionada em coordenadas latitude-longitude e x-y. O utilizador tem as seguintes opções:

- Alterar a situação do grão, passando de mar para terra ou vice-versa. Permite efetuar correções a locais que erradamente podem estar identificados como mar ou terra;
- Indicar a existência de um local onde se situa um sensor fixo. É utilizado quando no porto existem já sensores fixos, cuja informação é disponibilizada para as forças de segurança; após se indicar esta opção, surge a possibilidade de associar um dos tipos de sensor carregados anteriormente;
- Iniciar o desenho de uma área.

Localização de sensores. Caso se tenha assinalado a opção de atribuir um sensor do tipo radar a um local (esse local pode ser em terra ou no mar, considerando a existência de plataformas flutuantes, como navios), surge uma lista de radares disponíveis e de seguida são pedidos 3 parâmetros:

- Altura do mastro radar (normalmente os mastros radar têm 3 metros. Caso esteja instalado num navio, deve ser referida a altura em relação à linha de água);
- Altura média do centro refletor do alvo;
- Altura da maré, já que influencia a visibilidade quer para sensores embarcados quer para sensores em terra.

Cálculo de coberturas. Na figura A3 é visível a cobertura conseguida com um radar tipo *Thompson*, com uma altura de 18 metros, a bordo de um navio na Doca de Pedrouços, para um alvo cujo centro de reflexão se situa a 0.5 metros da linha de água e uma altura de maré de 0 metros. As linhas de

contorno estão situadas em degraus de 0.1, numa escala de probabilidades de detecção entre 0 e 1. Não há qualquer referência às condições ambientais, salvo as descritas no nome do radar. O processo de cálculo inclui:

- Adição do novo radar e características à matriz de radares já instalados no cenário (visível em camadas, através do comando “sup”);
- Recurso à função *colocar_um_radar*, desenvolvida especificamente para o simulador e usada igualmente para o otimizador de sensores. Esta função é chamada com o mapa *raster* contendo altitudes e o espelho líquido, as características do sensor a instalar, a altura da maré, a altura do centro de reflexão do alvo e a altura do mastro; a função calcula a visibilidade a partir do local de instalação e, para todos os locais da superfície líquida, a uma distância do radar inferior ao alcance máximo deste, calcula a probabilidade de detecção. Detalhes deste processo são exaustivamente explicados no capítulo da otimização de sensores; a função fornece um vector **vecpdc** (1xm) com a cobertura conseguida pelo radar isolado. O mesmo processo se passa caso o sensor seja um sonar;

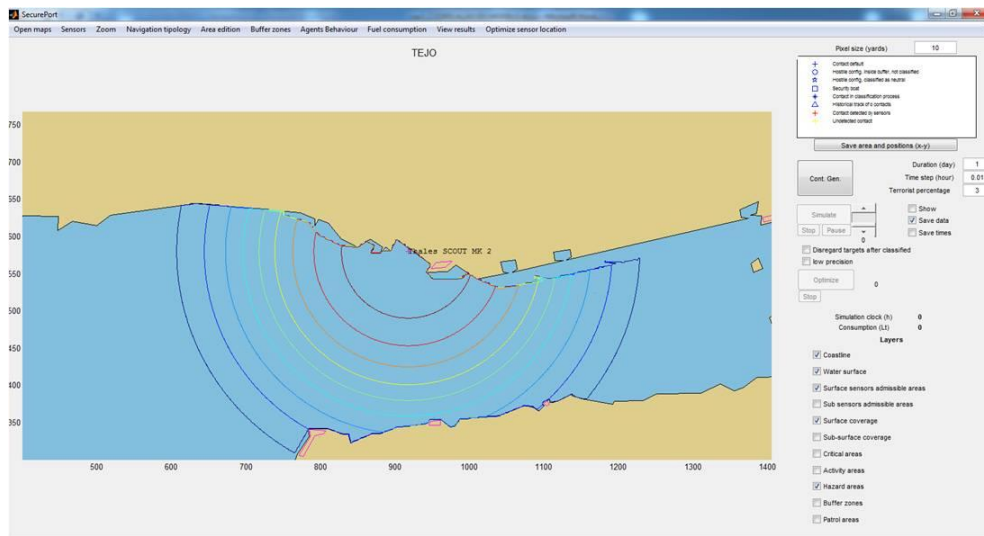


Figura A3. Cobertura de radar localizado manualmente

- O vector de coberturas existente, **covsup**, é agora atualizado com a informação **vecpdc** fornecida pela função *colocar_um_radar*, sendo vectores com a mesma dimensão. Caso se instale um sonar, o mapa de coberturas tem a designação **covsub**. São corridas todas as células do vector **covsup** e comparado o valor existente na célula correspondente do vector **vecpdc**:

$$covsup_i = \max\{covsup_i, vecpdc_i\} \quad (A.1)$$

- A probabilidade acumulada de detecção em cada célula tem em conta todos os radares presentes no cenário. Para cada novo sensor colocado é usada sequencialmente a equação A.1.
- As linhas de contorno da figura A3 são desenhadas utilizando a função “contour”, representando a informação gravada na matriz **covsup**, visualizada após ativação da camada correspondente, em *surface_coverage*. O mesmo processo é seguido para sensores submarinos ativos, seleccionando manualmente um local de instalação, atribuindo um sonar e comparando a cobertura individual com a cobertura existente.

Desenho de polígonos (ou áreas de interesse). O desenho de áreas de interesse é iniciado com a opção *initiate one polygon*. Vértice a vértice, o polígono é desenhado pelo utilizador. Após seleccionar a opção de fechar o polígono, são apresentadas diversas opções ao utilizador. Este pode seleccionar:

- Obstrução à navegação; futuramente será solicitado o calado dos navios para as quais a obstrução é efetiva, permitindo a simulação de canais de navegação. Atualmente considera-se que é efetiva para toda a navegação.
- Atividade; origem, atividade ou destino de embarcações ou mergulhadores locais; é solicitada uma descrição para a área, facilitando o seu uso posterior;
- Áreas onde se podem instalar sensores de superfície; superfícies planas para a plataforma, sistema de comando e geradores, com bons acessos, de fácil proteção física e autorizadas pelas autoridades locais (as operações de proteção portuária podem decorrer em países não NATO, pelo que a utilização de espaços tem sempre de decorrer de negociações a nível político, não sendo automaticamente garantidas as necessárias autorizações);
- Áreas onde se podem instalar sonares; correntes fracas, bons fundos, sem interferir com a navegação (navios de grande calado e artes de arrasto, redes ou linhas) e autorizadas pelas autoridades locais;
- Área crítica. São solicitados uma descrição e um grau de importância, entre 1 e 5, relevante quando existem diversas áreas críticas. Não é obrigatório que a escala seja ocupada e atribuir-se o valor 1 a uma área e o valor 2 a outra implica que uma tenha o dobro da importância da outra. Os critérios de atribuição de valores ficam a cargo do utilizador. Os valores atribuídos são posteriormente usados para cálculo do valor do dispositivo de segurança.

Edição de polígonos. Todos os polígonos desenhados anteriormente, identificados por um nome único atribuído aquando da sua criação, podem ser editados ponto a ponto ou eliminados.

A5 ATIVIDADES HUMANAS LOCAIS

A ferramenta criada para modelar as atividades descritas para o porto de Lisboa considerou um processo de vida e morte para cada embarcação, figura A4, sendo que a edição das áreas de atividade é um dos factores fundamentais e de maior dificuldade do simulador completo. É com esta capacidade que se vai recriar todo o ambiente portuário neutral, permitir a geração de contactos e influenciar a capacidade de classificação do dispositivo de segurança. A partir do interface da figura A1 é possível correr e seleccionar uma área de atividade, através da designação atribuída aquando da sua criação, referida anteriormente. Ao seleccionar uma área surgem os vértices em coordenadas x e y, os quais podem ser editados, tendo a preocupação de garantir que o ultimo vértice tem de ser sempre idêntico ao primeiro, para que se consiga fechar o polígono. O utilizador irá agora definir a atividade das embarcações que saem da área a editar. As embarcações que saem para pesca ou recreio no interior do cenário são editadas nos quadros intitulados *Working destination*, enquanto aquelas que irão sair do cenário são editados nos quadros *Final destination*. Todas as embarcações editadas em *Working destination* regressam à área inicial após o termo do seu dia de trabalho, dependente do tipo de embarcação seleccionada. Nos quadros de *Working destination* e *Final destination* o utilizador dispõe de:

- Janela com todas as áreas de atividade do cenário, criadas anteriormente;
- Janela com todos os tipos de embarcações existentes no cenário, carregados anteriormente pelo utilizador;
- Janela com indicação de 24 horas diárias, [00:00, 23:59].

O utilizador, após selecionar a área de origem, seleciona agora uma área para onde irão embarcações exercer alguma atividade. De seguida seleciona o tipo de embarcação. Caso a embarcação seja de pesca, irá exercer atividade de pesca, caso seja de recreio irá exercer atividade própria de recreio. As velocidades e autonomias estão já definidas na tipologia da embarcação. Falta agora definir quantidades de embarcação que saem por hora, numa rotina diária. Apesar de serem esperadas quantidades diferentes a fins de semana e feriados, não foram aqui contempladas, podendo ser necessário futuramente definir uma segunda janela de saídas.

Após gravar a informação, a mesma será apresentada em futuras edições de área. O processo é idêntico para o preenchimento dos quadros de *Final destination*. De notar que áreas exclusivamente de saída ou de atividade não são preenchidas, apenas se preenchendo os quadros para áreas de onde saem embarcações.

Apesar de algumas embarcações poderem entrar e sair diversas vezes de uma área, não é aqui contemplada essa situação. Sempre que uma embarcação sai origina um novo evento, já que nada garante a mudança da sua atitude pró-terrorista após ter atracado. A embarcação nasce ao sair de uma área, vive entre áreas e morre ao entrar numa área de destino. Suponhamos que a embarcação com o nome “Luz do luar” tem a seguinte atividade:

- 09:00 Larga da Trafaria, com destino à área de pesca Pesca1; atraca na Trafaria, após terminar o seu período de pesca;
- 15:00 Larga da Trafaria, com destino à Doca de Pedrouços;
- 18:00 Larga de Pedrouços, com destino à Trafaria.

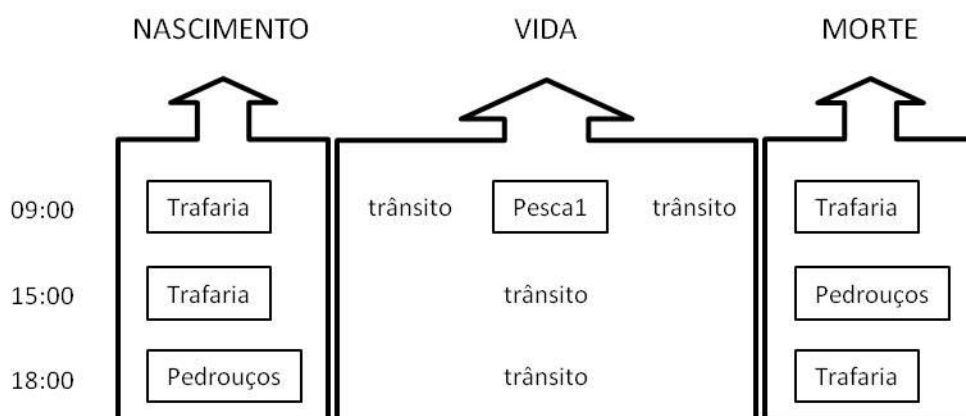


Figura A4. Processo de vida e morte da navegação

A “Luz do luar” necessita de ser registada em 3 ocasiões. Na primeira, a partir da área Trafaria, é registada como saindo às 09:00 para exercer atividade na *Working destination* Pesca1. A hora de regresso é dependente da tipologia (onde define a autonomia e velocidade de cruzeiro) e local onde termina a atividade, e a área final é sempre a área inicial, neste caso a Trafaria. O segundo registo é efetuado novamente na área Trafaria, tendo como *Final destination* Pedrouços, com saída às 15:00. A hora de chegada depende da velocidade de cruzeiro da “Luz do luar”. O terceiro registo é efetuado na área Pedrouços, tendo como *Final destination* Trafaria, com saída às 18:00.

No caso de embarcações de transporte de passageiros, terá de haver um registo sempre que larga de um local. Um cacilheiro, com saídas de 10 em 10 minutos de Cacilhas e do Cais do Sodré, necessita um registo em cada 40 minutos, tanto em Cacilhas como no Cais Sodré (um ciclo completo contempla 10 minutos de trânsito mais 10 minutos de espera mais 10 minutos de trânsito mais 10 minutos de espera).

A6 CARREGAMENTO DE COMPORTAMENTOS

Os comportamentos de agentes de segurança, terroristas e locais neutrais são usados quer pelo simulador do capítulo 3 quer pelo dos capítulos 6 e 7.

- **Dispositivo de segurança.** Os vários perfis de comportamento para a segurança são carregados através do interface próprio. Optou-se por agrupar os perfis, obrigando o utilizador a escolher um dentro de cada grupo. Poderá ser levantada a questão de alguns padrões de bote ou coordenadores em terra poderem ter comportamentos distintos, o que obrigaria a usar probabilidades em vez de variáveis binárias. No entanto, optou-se pela utilização de variáveis binárias, cabendo à fase de experimentação verificar qual dos comportamentos terá maior eficácia na defesa antiterrorista. Tenta-se desta forma diminuir o número de simulações necessárias para obter o melhor conjunto de comportamentos, à custa de forçar que todos os padrões de botes e coordenadores tomem as mesmas decisões perante situações semelhantes. Novamente se reitera que as decisões de atribuição de alvo a uma embarcação de segurança decorrem do centro de comando, não dos padrões das embarcações, evitando-se assim que se dirijam duas para o mesmo local.
- **Agentes terroristas.** Os comportamentos seguidos pelos agentes terroristas podem ser selecionados a partir de interface. O utilizador dispõe de 4 comportamentos distintos para a fase de aproximação, podendo selecionar entre um e os quatro. Para a fase de reação, pode apenas selecionar um comportamento de evasão, que será usado independentemente dos perfis de aproximação. Selecionando mais do que um comportamento de aproximação, a sua divisão pelos terroristas gerados será efetuada de forma equitativa, não mudando de perfil a meio da vida.
- **Agentes locais.** Os agentes locais considerados são os padrões de embarcações, que ao longo da simulação podem ser abordados para vistoria ou aviso. A situação de vistoria aplica-se caso se pretenda que as embarcações possam operar no interior da área de classificação, a situação de aviso será utilizada no caso contrário. A hipótese de fazer apenas avisos é usada porque em muitas situações se consegue junto das autoridades locais autorização para tornar interdita à navegação uma determinada área do porto. Este procedimento evita que os botes de segurança fiquem presos numa situação de vistoria, permitindo a abertura de espaços por onde os agentes terroristas penetrem no dispositivo sem serem intercetados.

A7 CONSUMO DE COMBUSTÍVEL DAS EMBARCAÇÕES DE SEGURANÇA

Pretendendo-se obter o custo da operação, o consumo das embarcações de segurança tem de ser registado durante a simulação, devido ao uso de velocidades distintas para a patrulha, interceção, vistoria e regresso. O utilizador deverá introduzir o consumo médio do sistema propulsor das embarcações usadas, para diversas velocidades, com a carga de 400 Kg (4 homens, equipamento de segurança, aparato do bote, motor e combustível), utilizando o interface próprio.

A8 CARACTERIZAÇÃO DO PANORAMA SUBMARINO

As variáveis específicas dos terroristas utilizando uma aproximação submersa da área crítica foram definidas anteriormente, sendo que as variáveis de decisão coincidem com os cenários de superfície. Para carregamento das variáveis aleatórias e adversariais foi criado um único painel, pedindo a introdução manual de: quantidade de mergulhadores gerados por hora; velocidade de trânsito; velocidade de fuga; autonomia; duração da exposição à superfície; distância percorrida entre exposições; profundidade média da trajetória submersa; ângulo entre posições de partida; alcance visual para deteções de mergulhador a partir de bote e terra; ângulo visual da busca a partir de bote;

ângulo sonar a partir de bote; alcance do sonar dos botes; velocidade ótima dos botes em operação com sonares; demora na investigação de contacto submarino obtido por sonar ou visualmente; periodicidade dos falsos contactos submarinos; periodicidade dos falsos contactos de superfície gerados por mergulhadores; duração da investigação de contacto obtido por radar.

A9 MODELOS DE DADOS

Os dados obtidos quer por introdução manual do utilizador quer por cálculo automático são usados pelos simuladores dos capítulos 3, 6 e 7 com as estruturas abaixo indicadas.

Modelo de dados de superfície

Quadro A1 Atributos dos contactos de superfície, iniciais e atualizados por instante. Matriz **ponto**

Coluna	Descrição do atributo	Tipo
1	Id_atributo, incremental, identificando o contacto	Nº natural
2	Coordenada x atual, aleatoriamente no interior da área de nascimento	Nº real
3	Coordenada y atual, aleatoriamente no interior da área de nascimento	Nº real
4	Rumo atual, após cálculo de trajetória	Nº real
5	Espaço atual percorrido, em grão, por <i>time_step</i> , específico do tipo de contacto e comportamento	Nº real
6	Id_situacao_atual	Nº natural
7	Identificação única da área de origem	Nº natural
8	Identificação única da área de trabalho	Nº natural
9	Identificação única da área de morte	Nº natural
10	Identificação única da tipologia de contacto	Nº natural
11	Id_tipologia_interesse	Nº natural
12	Id_estado_detecao	Binário
13	Id_estado_classificacao	Nº natural
14	Coordenada x inicial, aleatoriamente no interior da área de nascimento	Nº real
15	Coordenada y inicial, aleatoriamente no interior da área de nascimento	Nº real
16	Coordenada x de destino intermédio	Nº real
17	Coordenada y de destino intermédio	Nº real
18	Coordenada x de destino final, obtida aleatoriamente na área	Nº real
19	Coordenada y de destino final, obtida aleatoriamente na área	Nº real
20	Instante de nascimento do contacto, em <i>time_step</i> , obtido aleatoriamente dentro da hora de nascimento	Nº natural
21	Período de trabalho da tipologia, em <i>time_step</i> . Para terrorista, é gerado nº aleatório entre 0 e o período de trabalho da tipologia.	Nº natural
22	Id_situacao_terrorista , obtida aleatoriamente	Binário
23	Id_tipo_terrorista inicial, obtido aleatoriamente	Nº natural
24	Área crítica alvo (selecionada aleatoriamente)	Nº natural
25	Distância à área crítica alvo (em grão)	Nº real
26	Id_tipo_terrorista	Nº natural
27	Id_sucesso_terrorista	Nº natural
28	Instante atual	Nº natural
29	Área onde se encontra	Nº natural

Quadro A2 Atributos da situação atual, iniciais e atualizados por instante.

Id_situacao_atual	Descrição associada
1	Aguarda ou em trânsito para trabalho
2	Em trabalho
3	Aguarda ou em trânsito para morte
4	Morto
5	A ser vistoriado

Quadro A3 Valores da tipologia de interesse, constante durante a simulação

Id_tipologia_interesse	Descrição associada
0	Tipologia que pode ser usada por terroristas
1	Tipologia que não pode ser usada por terroristas
3	Embarcação das forças de segurança

Quadro A4 Valores do estado de deteção por sensores, atualizado por instante

Id_estado_detecao	Descrição associada
0	Não detetado pelos sensores fixos ou móveis
1	Detetado pelos sensores fixos ou móveis

Quadro A5. Valores do estado de classificação, atualizado por instante

Id_estado_classificacao	Descrição associada
0	Não classificado
1	Classificado como não terrorista
2	Em perseguição
3	Em vistoria

Quadro A6 Valores da situação inicial como terrorista, constantes durante a simulação

Id_situacao_terrorista	Descrição associada
0	Neutro
1	Terrorista

Quadro A7 Valores do tipo de terrorista, constantes durante a simulação

Id_tipo_terrorista	Descrição associada
0	Não terrorista
1	Segue navio mercante
2	Simula trânsito
3	Simula atividade
4	Dirige-se diretamente para área crítica atribuída

Quadro A8 Valores do sucesso do terrorista, atualizados por instante

Id_sucesso_terrorista	Descrição associada
0	Neutro
1	Penetrou na área crítica
2	Divergido
3	Capturado

Modelo de dados de falsos contactos

Quadro A9 Atributos dos falsos contactos, matriz *false_contact*

Coluna	Descrição do atributo		Tipo
1	Id_atributo, incremental, identificando o contacto		Nº natural
2	Instante de criação do contacto		Nº natural
3	Coordenada x		Nº real
4	Coordenada y		Nº real
5	Tipo de contacto	0: radar	Nº natural
		1: sonar	
		2: visual	
6	Estado do contacto	0: não investigado	Nº natural
		1: investigado	

Modelo de dados de mergulhadores*Quadro A10 Atributos dos mergulhadores, atualizados por instante. Matriz **merg***

Coluna	Descrição do atributo		Tipo
1	Id_atributo, incremental, identificando o contacto		Nº natural
2	Coordenada x atual, iniciada na posição de partida		Nº real
3	Coordenada y atual, iniciada na posição de partida		Nº real
4	Rumo atual, após cálculo de trajetória		Nº real
5	Espaço atualmente percorrido, em grão, por <i>time step</i>		Nº real
6	Id_situação_atual	Trânsito	0
		Investigado	1
		Morto	2
7	Identificação única da posição de partida		Nº natural
8	Intervalo entre emersões		Nº natural
9	Contador de instantes entre emersões		Nº natural
10	Duração da emersão		Nº natural
11	Contador de instantes da emersão		Nº natural
12	Estado do mergulhador	Submerso	0
		Superfície	1
13	Situação de deteção por sonar fixo	Não detetado	0
		Detetado	1
14	Situação de deteção por radar fixo	Não detetado	0
		Detetado	1
15	Situação de deteção por sonar de bote	Não detetado	0
		Detetado	1
16	Situação de deteção por vigia de bote	Não detetado	0
		Detetado	1
17	Identificação do bote que detetou o mergulhador		Nº natural
18	Coordenada x de destino final		Nº real
19	Coordenada y de destino final		Nº real
20	Instante de nascimento do contacto, em <i>time_steps</i> , obtido aleatoriamente dentro da hora de nascimento		Nº natural
21	Instante atual		Nº natural
22	Área crítica alvo		Nº natural
23	Id_sucesso_terrorista	Sem sucesso	0
		Com sucesso	1

Modelos de dados de embarcações de defesa

Quadro A11. Atributos das embarcações de defesa, atualizados por instante. Matriz **boat**

Coluna	Descrição do atributo		Tipo
1	Id_atributo, incremental, identificando o bote		Nº natural
2	Coordenada x atual, iniciada no centro da área de patrulha		Nº real
3	Coordenada y atual, iniciada no centro da área de patrulha		Nº real
4	Rumo aleatório		Nº real
5	Espaço atualmente percorrido, em grão por <i>time step</i>		Nº real
6	Id_situação_atual	0: em patrulha	Nº natural
		1: em perseguição	
		2: a pairar em vistoria	
		3: a investigar contacto sonar	
		4: a forçar a emersão de merg.	
7	Identificação única da área de classificação		Nº natural
8	Identificação única da área de patrulha		Nº natural
9	Identificação do alvo		Nº natural
10	Identificação única da tipologia do bote		Nº natural
11	Registo do tempo de paragem durante uma vistoria, investigação de contacto ou a forçar a emersão de mergulhador		Nº natural
12	Identificação da origem do alvo	0: quadro ponto	Nº natural
		1: quadro merg	
		2: quadro false_contact	
13	Coordenada x do <i>datum</i> (ultima posição conhecida do alvo)		Nº real
14	Coordenada y do <i>datum</i> (ultima posição conhecida do alvo)		Nº real